ELEMENTI DI FISICA

ESPOSTI

DAL

SACERDOTE AGOSTINO RIBOLDI

VOLUME SECONDO

NEL QUALE SONO TRATTATI:

LA FISICA PROPRIAMENTE DETTA — L'ASTRONOMIA
E LA METEOROLOGIA

MILANO
TIP. BONIARDI-POGLIANI DI ERMENEGILDO BESOZZI
Via dell'Unione, N. 20

MDCCCLXVI.

FISICA PROPRIAMENTE DETTA

362. **Estensione della fisica propriamente detta.** Il terzo ramo della fisica generale, o *la fisica propriamente detta*, oltre a quello che abbiamo esposto nei preliminari, comprende l'*acustica,* l'*ottica,* la *termologia* e l'*elettrologia.*

SEZIONE PRIMA

ACUSTICA

363. **Oggetto e divisione dell'acustica.** L'acustica ha per oggetto il suono: ne esamina l'origine e la propagazione, ne studia le qualità, e descrive gli apparati principali che servono a produrlo. Essa precede la musica, e stabilisce i principj fondamentali della medesima.

Questa parte della scienza può essere divisa in tre capi: nel primo dei quali si tratti dell'origine e della propagazione del suono; nel secondo se ne espongano le qualità; ed il terzo contenga la descrizione degli strumenti acustici.

CAPO PRIMO

ORIGINE E PROPAGAZIONE DEL SUONO.

ARTICOLO UNICO.

364. **Suono.** Il suono è la sensazione prodotta sull'organo dell'udito dalle vibrazioni dei corpi sonori. È facile verificare che un corpo, nell'atto in cui produce un suono, è in vibrazione. Quando si percuote, in un punto qualunque, una lastra di metallo o di vetro, coperta da uno strato leggero di sabbia, si ode un suono, e nel tempo stesso si veggono i granelli di sabbia saltellare con rapidità curiosa, spesse volte disporsi con

un ordine particolare, e non arrestarsi che alla fine del suono. Se sopra una corda tesa si dispongono a cavalcione alcuni pezzetti di carta, e poi, in una maniera qualunque, si fa suonare la corda stessa, quei brandelli di carta appajono dotati di un movimento determinato. L'esperienza non riesce meno elegante, allorchè è fatta con una campana sonora. Vicino al labbro di questa, assicurata ad un'asta orizzontale, si fissa una punta metallica, oppure si sospende una piccola palla, ed in seguito si percuote la campana. Allora, insieme al suono proprio del corpo percosso, si percepisce un rumore intermittente particolare, prodotto dall'urto della parte vibrante contro il corpo vicino, il quale, se è libero, è anche visibilmente allontanato dalla posizione di equilibrio. In ognuna di queste esperienze, basta porre una mano sul corpo vibrante per sospendere il fenomeno.

L'atto in cui una molecola qualunque del corpo vibrante percorre, una volta sola, in un senso o nel senso opposto, la linea lungo la quale oscilla nel suo movimento, chiamasi *vibrazione semplice;* ed invece l'atto complessivo con cui percorre due volte la linea stessa, prima in un senso e poi nel senso opposto, dicesi *vibrazione doppia.*

365. **Il suono non si propaga nel vuoto.** Le vibrazioni dei corpi sonori non sono trasmesse al nostro orecchio che per mezzo della materia ponderabile. Di fatto una campanella (fig. 332) sospesa, per mezzo di fili di canape o di lino non torti, nel centro di un pallone di vetro, dal quale siasi estratta l'aria, quando viene scossa, senza che tocchi le pareti del pallone, non produce mai suono percettibile. Per confermare il medesimo principio, si pone sotto il recipiente della macchina pneumatica un piccolo sistema di ruote dentate (fig. 333), munito di una molla, che fa battere un piccolo martello sopra una campana. Vicino ad una ruota è disposto un grilletto, che può essere premuto contro di essa, ed arrestare il moto di tutto il sistema, ovvero può essere dalla medesima allontanato, per mezzo di un'asta, che attraversa la parete del recipiente in una scatola a stoppa. Se dopo d'aver montato l'apparecchio, lo si

Fig 332.

Fig. 333.

colloca sopra un cuscino di materia non elastica, per impedire che le vibrazioni si trasmettano al piatto della macchina, e da questo all'aria esterna, e poi, praticato il vuoto, sollevasi il grilletto, si vede il martello battere la campana, e tuttavia non si percepisce suono alcuno.

366. **Il suono si propaga nei corpi elastici gasosi — liquidi — e solidi — con diversa velocità.** Se nell'esperienza precedente, quando il martello è ancora in moto, si permette ad un po' d'aria d'introdursi nella campana, si ode subito un debole suono, che vieppiù aumenta di intensità, lasciando entrare nella campana stessa una crescente quantità di aria. Tutti i gas sono egualmente atti a propagare il suono. A provarlo basta estrarre l'aria dal pallone rappresentato nella figura 332, introdurvi un gas od un vapore qualunque, ed in seguito agitare l'apparato: si ode un suono, che, a pari pressione, è proporzionale alla densità del gas.

Anche i liquidi sono veicoli del suono. Quando si getta un sasso in una vasca, anche profonda, che abbia un fondo sonoro, si ode il rumore prodotto dall'urto della pietra contro la superficie della vasca. Una sveglia calata sott'acqua, in un recipiente riempito d'aria, è udita suonare anche ad una distanza notevole. I pesci nelle acque manifestano di sentire i suoni che sono prodotti esternamente. Un palombaro, che scende a visitare il fondo del mare, ode le voci dei barcajuoli alla superficie dell'acqua. Nollet osservò che i suoni nel passaggio dell'aria all'acqua soffrono un notevole indebolimento.

I corpi solidi elastici trasmettono il suono meglio degli aeriformi e dei liquidi. Stando in una camera, si odono i suoni prodotti nella camera vicina, sebbene tutte le aperture siano chiuse. Applicando l'orecchio al suolo, si odono facilmente i rumori molto lontani, quali il calpestio dei cavalli, il suono delle campane, ecc., anche quando sono ad una distanza tale che l'atmosfera non li trasmette almeno in modo sensibile. Nelle miniere dello stagno di Cornovaglia, in Inghilterra, sonvi alcune gallerie, che si estendono sotto il mare: là, attraverso lo spessore delle robustissime volte, si ode il rumore prodotto dai flutti che si urtano fra loro. Nei legni il suono si trasmette più facilmente lungo le fibre longitudinali che non nel senso trasversale. Se all'estremità di un'asta di legno si appende un orologio in moto, applicando l'orecchio all'altra estremità, se ne ode il battito. Due persone, anche a notevole distanza, possono a vicenda parlarsi sottovoce, tenendo fra i loro denti le estremità di una bacchetta. I marinai adoperano lo scandaglio per conoscere se e dove entri

acqua nel loro naviglio. Lo stesso semplicissimo apparato serve ad osservare se le dighe, costrutte lungo la riva di un canale, di un lago o di un fiume, venissero mai traforate a poco a poco dalle acque, con pericolo dei luoghi circostanti. Da poco tempo Weatstone ha fatto a questo proposito una elegante esperienza. Egli collocò un pianoforte, un violone, un violoncello ed un clarinetto in una camera sotterranea di un alto edifizio; indi sopra ciascheduno di questi strumenti appoggiò un'asta verticale di pino, del diametro di 2 centimetri, e di una lunghezza tale da arrivare ad una delle camere più elevate dell'edifizio; ed alla estremità superiore di ognuna delle quattro verghe, unì una cassetta di legno sottile ed elastico. Suonando gli strumenti musicali contemporaneamente, oppure, l'uno dopo l'altro, nella camera superiore si udiva la musica della piccola orchestra in maniera distinta e chiara. Ma se si sollevava una qualunque delle aste, al punto da separarla dallo stromento sonoro, ovvero la si spogliava della cassetta superiore, non si percepiva il suono dell'apparato corrispondente.

I corpi anelastici, come la stoppa, la lana, le materie polverizzate, ecc., non trasmettono i suoni, almeno in modo sensibile, e diconsi *cattivi conduttori* del suono.

Ma, sebbene i corpi elastici, gasosi, liquidi e solidi, servano a trasmettere il suono, non lo fanno però tutti colla medesima prontezza, cioè il suono non si propaga in questi diversi mezzi con una eguale velocità.

Velocità del suono nell'aria. Furono fatti numerosi tentativi per determinare la velocità del suono nell'aria. I primi si debbono agli accademici del Cimento; gli ultimi ed i più precisi, fatti nelle notti del 21 e 22 giugno 1822, agli accademici di Parigi. Questi avevano scelte due stazioni, Villejuif e Montlhery, distanti fra loro 18,700 metri. Alla prima si trovavano i fisici Prony, Arago e Mathieu; ed alla seconda Humboldt, Gay-Lussac e Bouvard. A ciascuna stazione, di dieci in dieci minuti, si sparava un cannone, ed ognuno degli osservatori notava, per mezzo di un cronometro ben regolato, il tempo che trascorreva tra l'apparizione della luce e la percezione del suono. Ammettendo che la luce si propaghi istantaneamente (come si poteva supporre nel caso, senza pericolo di errore sensibile, giacchè la luce impiega un solo minuto secondo a percorrere 31,000 miriametri), fu facile a quei fisici il risolvere il problema sulla velocità di propagazione del suono nell'aria; divisero cioè la distanza delle due stazioni per 55″, che è il numero che rappresenta la durata media della propagazione del suo = o dall'una al-

l'altra stazione, da cui ebbero per quoto 340: numero di metri che percorre il suono alla temperatura di 16°, com'era al tempo dell'esperimento.

Variazioni della velocità del suono nell'aria. Quando l'aria è tranquilla il suono si propaga costantemente colla stessa velocità a qualunque distanza dal corpo sonoro; ma se l'aria è agitata dal vento allora aumenta o diminuisce, secondo che questo è cospirante o contrario.

In secondo luogo la velocità del suono, indipendente dallo stato del cielo e dall'altezza barometrica, cresce col crescere della temperatura; cosicchè mentre a 16° essa è di 340 metri per secondo, a 10° è 337 metri, ed a 0° è di 331 metri. A pari temperatura però la velocità di propagazione è la stessa per tutti i suoni, deboli o intensi, gravi od acuti. E di fatto un'orchestra, che risulta da suoni diversamente intensi e di gravità diverse, è udita tanto vicino che lontano, nello stesso accordo delle sue parti.

Velocità del suono negli altri gas. La velocità del suono è varia nei diversi gas, anche a temperature eguali. Non potendosi però determinare direttamente la velocità del suono nei gas diversi dall'aria, per la difficoltà di poter avere un volume di questi abbastanza esteso, convenne ricorrere al calcolo per conoscerla. E lo si potè fare partendo dalla relazione che ha la velocità del suono in un gas colla nota musicale che dà un tubo ripieno del gas medesimo posto in vibrazione. Tale fu il metodo di Dulong, ed i risultati de' suoi calcoli furono i seguenti:

la velocità	del suono	nell'acido carbonico è di .	261^m	al 1″
»	»	nell'ossigeno è di	317^m	»
»	»	nell'aria è di	333^m	»
»	»	nell'ossido di carbonio è di	337^m	»
»	»	nell'idrogeno è di	1269^m	»

quando la temperatura sia quella dello zero.

Si determina pure questa velocità del suono ne' varii gas, con una formola data da Newton, e corretta in seguito da Laplace. La formola Newtoniana è la seguente $v = \sqrt{\frac{e}{d}}$, supposto che v rappresenti la velocità richiesta, e l'elasticità dell'aeriforme, e d la sua densità; ossia, secondo questa formola, la velocità del suono in un gas qualunque eguaglia la radice quadrata del quoziente che si ottiene dividendo il numero che rappresenta la ela-

sticità di esso per quello che ne rappresenta la densità; e per conseguenza questa velocità è direttamente proporzionale alla radice quadrata della elasticità del gas, nel quale il suono si propaga, ed inversamente proporzionale alla radice quadrata della sua densità.

Velocità del suono nei liquidi e nei solidi. La velocità del suono nei liquidi è molto maggiore che non nell'aria. Colladon e Sturm hanno trovato, col mezzo di esperimenti fatti nel 1827 sul lago di Ginevra, che la velocità del suono nell'acqua è di 1435 metri al secondo, cioè più che quadrupla di quella del suono nell'aria. Per calcolare la velocità del suono in qualunque liquido, Laplace ha stabilita la formola seguente: $v = \sqrt{\frac{g}{a}}$, supposto che v rappresenti la velocità richiesta, g il valore della gravità nel luogo dell'esperimento (che per Milano è $9^m,8061$), ed a l'accorciamento che prova una colonna orizzontale del liquido della lunghezza di un metro, quando è compresso in un tubo anelastico da un peso eguale al suo.

La tavola seguente esprime la velocità del suono in alcuni liquidi secondo la formola riferita.

Etere solforico . . .	1039	Acqua	1435
Alcool	1157	Mercurio	1484
Etere idroclorico . .	1171	Acido nitrico	1535
Essenza di trementina .	1276	Acqua satur.ª d'ammoniaca	1842.

Nei solidi la velocità del suono è ancora maggiore. Biot esperimentando sui tubi di ghisa degli acquedotti, ha trovato direttamente che il suono nella ghisa si propaga 10 volte e mezzo più velocemente che nell'aria. La velocità del suono negli altri solidi fu determinata teoricamente da Chladni, Savart, Masson e Wertheim, i quali la dedussero dal numero delle vibrazioni longitudinali o trasversali dei corpi, oppure dal loro coefficiente di elasticità. In tal guisa Chladni trovò che nei legni la velocità del suono è da 10 a 16 volte maggiore che nell'aria. Nei metalli questa velocità varia di più, essendo compresa tra 4 e 16 volte quella che si riscontra nell'aria. Laplace fa uso ancora della formola stabilita pei liquidi, intendendo di rappresentare con a l'allungamento che un cilindro, della lunghezza di un metro, soffre quando è stirato da un peso eguale al suo.

Nella tavola seguente presentiamo le velocità del suono in alcuni solidi, quali sarebbero calcolate secondo Laplace.

Nome del corpo	Velocità essendo presa per unità quella del suono nell'aria
Stagno	7 ½
Argento	9
Legno di noce, di quercia e di tasso .	10 ⅔
Ottone e legno di prugno	10 ⅔
Tubi delle pipe del tabacco	dal 10 al 12
Rame rovente	12
Legno di pero	12 ½
Legno d'acero	13 ⅓
Legno di ebano, carpino ed olmo . .	14 ⅔
Legno di tiglio e di ciriegio	15
Legno di salice e pino	16
Vetro, ferro ed acciajo	16 ⅔
Legno d'abete	dal 16 ⅔ a 18.

367. **Ciascuna vibrazione del corpo sonoro eccita nel mezzo propagatore un'onda di determinata lunghezza — onda condensata.** Dopo d'aver provato che il suono è un moto vibratorio della materia ponderabile, e che si propaga per mezzo della materia stessa, che si trova a contatto col corpo sonoro, per concepire come le vibrazioni di questo si trasmettono all'aria e agli altri mezzi conduttori, immaginiamo una lamina elastica *p* (fig. 334) vibrante in un cilin-

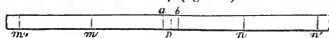



Fig. 334.

dro *m' n'*. La lamina *p*, passando nella sua vibrazione, da *a* in *b* spinge le molecole aeree, che le sono contigue, nel senso del suo movimento. Queste spingono allo stesso modo le conseguitive, e così si trasmette nell'aria il movimento della lamina. Qualora l'aria contenuta nel tubo fosse un solido, il moto della lamina la porterebbe fuori dal medesimo di una quantità eguale ad *ab*, ma, essendo un aeriforme, la costipa, e non già in tutta la lunghezza del tubo, ma solo in uno spazio determinato, a norma dell'elasticità dell'aria e della distanza delle sue molecole: le molecole aeree vicine alla lamina si sono trasportate verso

destra di una quantità eguale ad *ab*, le successive di una quantità minore, perchè quelle, prima di spostar queste, hanno dovuto percorrere la distanza che da loro le divideva; le spostano quindi di una quantità eguale alla differenza che corre fra *ab* e la loro distanza; e così di seguito lo spazio percorso dalle altre molecole aeree diminuisce, finchè si arriva ad alcune che rimangono tuttavia in riposo.

La vibrazione adunque della lamina eccita nell'aria una condensazione in uno spazio determinato del cilindro. Supponendo che questa condensazione arrivi fino in *n*, la massa d'aria compresa fra *p* ed *n* è ridotta dalla vibrazione della lamina ad occupare uno spazio minore, e forma quella che si chiama *onda condensata*, la cui lunghezza è rappresentata dalla retta *pn*.

L'onda condensata risulta da parti che hanno densità e velocità differenti. A prima vista pare che la condensazione debba essere decrescente a partire dalla lamina, e che le molecole aeree debbano essere spostate tutte colla stessa velocità; ma non avviene così; perchè la densità e la velocità dei varii strati aerei, che compongono l'onda, dipendono dalla velocità della lamina vibrante. La velocità di questa lamina, nulla in sulle prime, cresce progressivamente fino al mezzo della corsa, poi decresce fino in *b*, dove è nuovamente nulla, perchè il corpo non passa dalla quiete al moto che gradatamente, e dal moto non ritorna alla quiete che colla stessa gradazione. Supponiamo che la lamina passi da *a* in *b* in un tempuscolo, e che fra la lamina ed *n*, dove arriva il moto nello stesso tempo, vi sieno tre strati d'aria. Al principio del tempuscolo la lamina percuote il primo strato d'aria con velocità incipiente: a mezzo il tempuscolo, il primo strato d'aria percuote il secondo colla velocità prima ricevuta, e la lamina percuote il primo colla massima velocità; ed in fine del tempuscolo il secondo percuote il terzo colla velocità ricevuta dal primo, il primo percuote il secondo colla velocità massima, e la lamina percuote il primo colla velocità morente; di modo che, finito quel tempuscolo, la lamina è in quiete, il primo e il terzo strato sono animati da velocità deboli ed eguali, ed il secondo è animato dalla massima velocità. Siccome poi la densità degli strati d'aria è in ragion diretta della compressione e quindi della velocità, così lo strato intermedio avrà anche la massima densità, e gli altri due la minima densità rispettiva. Estendendo il fenomeno a più di tre strati d'aria quali si possono concepire nella lunghezza dell'onda, è facile il pensare come in *b*, ove la lamina trovasi in quiete, l'aria avrà una velocità nulla ed avrà riacquistata la sua densità primitiva, ed

in n, ove termina l'onda, la velocità e la densità avranno lo stesso valore che in b, mentre nei punti intermedj queste quantità cresceranno da b fino alla sezione media dell'onda, per decrescere poi di là, colla stessa legge, fino in n.

L'onda condensata percorre spazj eguali in tempi eguali. Tutto questo avviene nel tempuscolo, in cui la lamina compie la sua corsa ab. In seguito, il moto comunicato agli strati aerei dell'onda, si propaga colla stessa legge agli strati successivi. Epperò immaginando il tubo diviso in parti eguali a pn, e supponendo ciascuna di queste parti suddivisa in falde parallele alla base del tubo, allorquando la prima falda dell'onda pn viene a porsi in quiete, la prima falda della parte nn' comincia a partecipare al movimento; indi, allorchè la seconda falda dell'onda pn si mette in quiete, il moto si comunica alla seconda falda di nn', e così di seguito; di modo che in un secondo tempuscolo il moto si sarà propagato fino ad n', e sarà estinto nello strato precedente pn. Di falda in falda, nei tempi successivi, il moto si propagherà a tutte le altre parti dell'aria del tubo; sicchè si potrà dire che l'onda condensata progredisce nel tubo in modo che ognuna delle parti di essa arriva successivamente alle stesse gradazioni di velocità e di densità, o ciò che è lo stesso, che l'onda percorre spazj eguali in tempi eguali.

Rappresentazione grafica dell'onda sonora. Si possono graficamente rappresentare le varie parti che compongono l'onda sonora, e che hanno velocità e densità differenti, coll'elevare sulla retta, che dinota la lunghezza dell'onda stessa, delle perpendicolari, le altezze delle quali rappresentino il grado di compressione degli strati corrispondenti: riuniti tutti gli estremi di queste perpendicolari formeranno una curva che esprimerà l'ordine, secondo il quale si succedono le compressioni degli strati.

Onda rarefatta. Nel tempo in cui la lamina compie una vibrazione semplice, e forma davanti a sè un'onda condensata, dietro ad essa si produce un vuoto, in cui si espande la falda d'aria che è a contatto colla faccia posteriore della lamina. In appresso la falda successiva, dilatandosi alla sua volta, riconduce la prima allo stato di condensazione primitiva; e così in seguito di falda in falda, nel tempo in cui si condensa l'aria davanti alla lamina, dietro alla stessa ha luogo una rarefazione, che è sentita in uno spazio determinato del tubo, e vien detta *onda rarefatta*. Il fenomeno s'inverte quando la lamina ritorna da b in a; in modo che da una stessa parte della lamina succede costantemente un'onda condensata ad una rarefatta, e viceversa.

L'onda rarefatta è di lunghezza eguale alla condensata, e di

velocità e densità contrarie. È chiaro come ciò debba avvenire per due onde contemporanee, l'una condensata, che si trova da una parte della lamina, e l'altra rarefatta, che si trova alla parte opposta, giacchè sono prodotte da un movimento unico della lamina. Ma si concepisce facilmente come la stessa legge si debba verificare per due onde successive; poichè la lamina *p*, a ritornare da *b* in *a*, impiega lo stesso tempo che impiegò ad andare da *a* in *b;* quindi la rarefazione prodotta dal movimento retrogrado della lamina, si propaga nel tubo per una lunghezza eguale a quella che vi è tra *p* ed *n*, ossia l'onda rarefatta ha sempre lunghezza eguale alla condensata. Inoltre, ritornando la lamina alla posizione primitiva colla stessa gradazione di velocità dovrà produrre nella rarefazione le stesse modificazioni che produsse nella condensazione; ossia supponendo ancora che sieno tre gli strati interposti fra la lamina ed *n*, al principio del tempuscolo, in cui la velocità della lamina è incipiente, si produrrà una piccola rarefazione nel primo strato; a mezzo del tempuscolo, essendo massima la velocità della lamina, nel primo strato si produrrà la massima rarefazione, e nel secondo avverrà la rarefazione voluta, per l'equilibrio dei fluidi, dalla rarefazione avvenuta precedentemente nel primo; e per ultimo alla fine del tempuscolo, diminuendo la velocità della lamina, diminuirà la rarefazione del primo strato, mentre il secondo, risentendo della precedente rarefazione del primo, subisce la massima rarefazione, ed il terzo, risentendo della rarefazione precedente del secondo, subisce, come il primo, la minima rarefazione; di modo che alla fine di quel tempuscolo avremo un'onda rarefatta, che agli estremi avrà una velocità nulla e la densità primitiva, e nei punti intermedj la velocità e la rarefazione cresceranno fino alla sezione media, per decrescere fino alla fine colla stessa legge.

Rappresentazione grafica dell'onda rarefatta. L'onda rarefatta può essere rappresentata allo stesso modo che l'onda condensata; ma, come è facile prevedere, essa sarà rappresentata non più da una curva convessa, ma da una curva concava.

Ondulazione. L'onda condensata e la rarefatta prese insieme costituiscono una *ondulazione;* che è quanto dire che una ondulazione abbraccia la parte della colonna d'aria modificata da una vibrazione doppia della lamina.

Lunghezza dell'ondulazione. La lunghezza dell'ondulazione è la grossezza dell'onda condensata e rarefatta riunite, cioè lo spazio che il suono percorre durante una vibrazione doppia del corpo sonoro. Questa lunghezza è tanto minore quanto più sono rapide le vibrazioni; perchè tanto più è rapido il moto del corpo

sonoro, tanto minore è il tempo, in cui può propagarsi nel veicolo; ed al contrario quanto meno è rapida la vibrazione, tanto maggiore è il tempo in cui si trasmette al veicolo, e quindi più lontano il punto a cui può arrivare, giacchè quello è sempre egualmente elastico. La lunghezza adunque delle ondulazioni è in ragione inversa della rapidità delle vibrazioni, ossia è proporzionale al tempo di una vibrazione.

Nell'aria libera il suono si propaga per onde sferiche concentriche, alternativamente condensate e rarefatte. Da quanto abbiam detto, appare che un corpo, per esempio, una sfera, vibrante in un mezzo indefinito, aumentando e diminuendo periodicamente di diametro, deve successivamente condensare e rarefare lo strato elastico che l'inviluppa. Siffatte condensazioni e rarefazioni si propagheranno le une in seguito alle altre, come in un tubo cilindrico; ma le onde condensate e rarefatte saranno terminate da superficie sferiche, aventi il loro centro comune nel centro del corpo vibrante.

Raggio sonoro. Ogni direzione normale alla superficie dell'onda, secondo la quale il suono si propaga, chiamasi *raggio sonoro.*

368. **Coesistenza delle onde**. Allorchè sono scossi contemporaneamente parecchi punti, ciascuno di essi diviene il centro d'una serie di onde sferiche alternativamente condensate e rarefatte, che ordinariamente si propagano, incontrandosi a vicenda, senza modificarsi. Questo principio, conosciuto sotto il nome di *coesistenza delle onde,* è verificato dalla osservazione, che i diversi suoni di una orchestra, se non sono eccessivamente intensi, arrivano all'orecchio senza soffrire alcuna modificazione. Ci possiamo formare un'immagine del fenomeno in discorso, scuotendo in parecchi punti la superficie di un'acqua tranquilla. Per concepire poi come due condensazioni o due dilatazioni elementari, che camminano in senso contrario, possano incontrarsi senza modificarsi, basta riflettere che uno strato d'aria, per esempio A, il quale sia al medesimo istante compresso da due strati opposti B e C, deve condensarsi in rapporto alla somma delle due forze, che gli sono applicate. A maggior chiarezza, sia F la compressione esercitata da B ed f quella prodotta da C, lo strato A sarà compresso da una quantità $F+f$, e colla medesima forza reagirà da ogni banda. Lo strato B, venendo compresso da A con una forza $F+f$, conserverà e trasmetterà dalla parte opposta una compressione f; e lo strato C, allo stesso modo, dovrà conservare e trasmettere una compressione F: le due compressioni F ed f avranno così attraversato lo strato A, senza modificarsi nel loro incontro. Qui si ripete il fenomeno d

due palle elastiche ed eguali che nel loro urto diretto (238) non fanno che scambiarsi le loro velocità, senza perdita alcuna di movimento.

369. **Riflessione del suono**. Quando una vibrazione, trasmessa da un mezzo elastico, incontra un secondo mezzo, che differisca dal primo nella densità e nella elasticità, dà luogo a due distinte ondulazioni, l'una delle quali si propaga nel nuovo mezzo, e l'altra ritorna nel primo. Le onde retrocedenti diconsi *onde riflesse*, ed il fenomeno chiamasi *riflessione del suono*. Non è difficile formarcene un'idea esatta. Sia p (fig. 334) la superficie di separazione di due diverse colonne cilindriche elastiche: e supponendo che il secondo mezzo si lasci comprimere meno facilmente del primo, esaminiamo una compressione elementare trasmessa ad a dallo strato m, e arrivata alla superficie p. Lo strato a, appena compresso, reagirà per riprendere lo stato primitivo, e comprimerà il primo strato b del secondo mezzo. Ma siccome quest'ultimo cede meno alla compressione che non il primo mezzo, così la maggior parte della espansione dello strato a si manifesterà dalla parte dello strato m, il quale non sarà solamente ridotto allo stato di equilibrio, ma anche compresso per un eccesso di forza. Questa compressione si trasmetterà indefinitamente in senso contrario al movimento primitivo, mentre questo, diminuito proporzionalmente di energia, si propagherà dallo strato b allo strato n, e così di seguito. È chiaro che lo stesso fenomeno si dovrà ripetere colle medesime circostanze nel caso in cui si trasmetterà una dilatazione. Se poi altre compressioni o nuove dilatazioni succederanno alle prime, esse si propagheranno al modo stesso, s'incontreranno senza subire modificazione di sorta. Il fenomeno di cui ci occupiamo è precisamente dello stesso genere del fenomeno prodotto da una palla elastica che urta contro di un'altra palla più tarda al moto. Quando poi il secondo mezzo fosse meno denso del primo, la riflessione si verificherebbe novellamente; ma con questa circostanza particolare che un'onda condensata darebbe luogo ad un'altra riflessa dilatata, e viceversa un'onda rarefatta, riflettendosi, si trasformerebbe in una condensazione.

Da questi principj consegue che le onde sonore sferiche concentriche, le quali si propagano in un mezzo indefinito, allorchè incontrano la superficie di un mezzo differente, debbono riflettersi dando luogo ad un sistema di simili onde, aventi per centro un punto simmetrico al centro primitivo in ordine alla superficie di separazione dei due mezzi. Di fatto se una serie di vibrazioni arriva alla superficie che separa due diversi mezzi,

ciascun punto di questa superficie diviene il centro di due sistemi di onde sferiche, delle quali le une si trasmettono nel secondo mezzo e le altre nel primo. Quando l'onda ab (fig. 335) avente il centro in C, incontra l'ostacolo mn nel punto a, questo punto diventa un centro di scuotimento, da cui si propaga un'onda sferica, la quale raggiunge il raggio $ao = qd$ al momento in cui l'onda ab tocca l'ostacolo in q, ed il raggio $ap = mb$ all'istante in cui lo tocca nel punto m. Nel tempo stesso i differenti punti della superficie am danno successivamente origine ad onde sferiche che aumentano di raggio colla medesima regolarità, e prolungate al dissotto di mn sono tangenti alla superficie sferica mr. Quindi se, fatto centro in C′, simmetrico a C in ordine al piano mn, con raggio aC′, si descrive una sfera ms, questa sarà tangente esteriormente alle sfere a, q... e rappresenterà la superficie dell'onda riflessa.

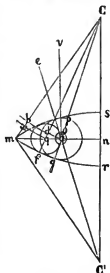



Fig. 335.

Leggi della riflessione. Le leggi della riflessione sono due: 1.° L'angolo d'incidenza è eguale all'angolo di riflessione; e 2.° il raggio incidente ed il raggio riflesso si trovano in un medesimo piano perpendicolare alla superficie riflettente. Un raggio sonoro chiamasi *incidente* sinchè non ha incontrata la superficie di separazione dei due mezzi, e dicesi *riflesso* ogni raggio sonoro che, partendo dalla superficie stessa, si dirige nel mezzo primitivo. L'angolo d'incidenza (242) è l'angolo formato dal raggio incidente colla normale alla superficie riflettente nel punto di contatto; e denominasi angolo di riflessione quello formato dalla normale stessa col raggio riflesso. L'esperienza conferma queste leggi; giacchè un suono prodotto in un foco f (fig. 336) di un ellissoide di rivoluzione si ode con intensità particolare nell'altro foco f'; cioè un raggio sonoro, per esempio fi, che partendo da f ha la direzione di un raggio vettore del punto i nell'ellisse aba', quando si riflette in i, assume la direzione if' dell'altro raggio vettore del punto i. Ma dalla geometria sappiamo che la normale di un punto i divide per metà l'angolo fif' dei due raggi vettori:

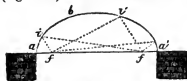



Fig. 336.

dunque l'angolo d'incidenza è eguale all' angolo di riflessione. Sonvi alcune sale le quali, avendo la vôlta a forma d'ellissoide, offrono tutte le condizioni favorevoli per un secreto colloquio a distanza. I fochi dell'ellissoide sono due angoli opposti della sala; epperò se una persona parla a bassa voce in uno di questi angoli, è intesa da chi si trova nell'altro foco, mentre le persone più vicine a quella che parla non possono intendere nulla. Se ne citano diversi esempj; e tali sono una sala a pian terreno nel Conservatorio delle arti e mestieri di Parigi, la Chiesa di Agrigento in Sicilia, il secondo od il terzo dipartimento del portico degli Archivi in piazza de' Mercanti a Milano, ed il portico della torre nei giardini reali di Monza.

Anche il calcolo può offrirci una prova, quanto facile altrettanto evidente, delle due leggi enunciate intorno alla riflessione del suono. Di fatti, se aC (fig. 333) è raggio incidente, ae (raggio normale alla superficie dell'onda riflessa, ed il cui prolungamento passa, per conseguenza, nel punto C′) sarà il raggio riflesso. Gli angoli mae, naC, eguali al terzo naC′, sono eguali fra loro. Quindi saranno pure fra loro eguali i due angoli vae, vaC, che si ottengono elevando da a la perpendicolare av alla superficie mn nel piano CaC′. Inoltre i raggi, incidente e riflesso, sono in questo stesso piano della normale av.

370. **Eco — condizioni necessarie di questo fenomeno.** Una conseguenza della riflessione del suono è il fenomeno dell'eco. L'eco è la ripetizione di un suono, riflesso in modo che sia percepito distinto dal suono diretto.

Tre condizioni assegnano i fisici al fenomeno dell'eco, e sono le seguenti: 1.° Che esista un ostacolo, il quale rifletta le onde sonore; 2.° che questo ostacolo sia tale da dirigere le onde riflesse al nostro udito; e 3.° che disti da noi quanto è necessario perchè il suono riflesso ci arrivi dopo d' aver percepito il suono diretto. La necessità delle prime due condizioni è evidente. L'ostacolo riflettente poi può essere un muro, una montagna, una collina, una siepe, ed in genere un mezzo di densità differente da quello in cui il suono fu concepito; quindi anche una nube, la nebbia, od uno strato d' aria diversamente denso da quello precedentemente attraversato dal suono. A persuaderci poi della verità della terza condizione basta riflettere che onde il suono di una sillaba sia percepito dall'anima nostra è necessario che il moto impresso alla membrana del nostro timpano sia tale da farla oscillare almeno $^1/_4$ di secondo. Epperò il fenomeno dell'eco avrà luogo quando l'onda riflessa arrivi alla membrana del nostro timpano almeno $^1/_4$ di secondo dopo

l'onda diretta. Ma il suono in $^1/_4$ di secondo percorre 85 metri; dunque è necessario che il cammino percorso dal fascio diretto superi almeno di 85 metri il cammino percorso dal fascio sonoro riflesso. Il punto ove vien prodotto il suono chiamasi *centro fonico*, ed il punto ove viene riflesso dicesi *centro fonocamtico.* Chiamando x la distanza dell'osservatore dal centro fonico, y la distanza di lui dal centro fonocamtico, e d la distanza dei due centri medesimi, la condizione accennata, per la produzione dell'eco, sarà espressa dalla formola $d+y-x \geqq 85^m$; cioè la differenza fra la somma delle distanze del centro fonocamtico dal centro fonico e dalla posizione dell'osservatore, e la distanza di questo luogo dal centro fonico — deve essere maggiore o per lo meno eguale a 85 metri.

Parecchie volte l'osservatore si trova nel centro fonico; allora è $x=o$ e $d=y$; quindi la formola diviene $d \geqq 42^m{,}5$. In questo caso la distanza dell'osservatore dal centro fonocamtico deve essere maggiore od eguale di $42^m{,}5$. Quando il suono è molto breve, a percepire il suono riflesso distinto dal diretto basta che fra l'impressione loro scorra un lasso di tempo di $^1/_{10}$ di secondo, e per conseguenza che sia $d \geqq 17^m$.

Eco unifona — polifona. Quando l'eco ripete una sol volta il medesimo suono si dice *unifona;* e quando lo ripete più volte chiamasi *polifona.* L'eco è unifona se ha luogo una sol riflessione del suono, e polifona se avvengono più riflessioni distinte.

Eco monosillaba — polisillaba. L'eco, sia unifona, sia polifona, talvolta ripete una sillaba sola, ossia è *monosillaba;* e talvolta ripete più sillabe, ossia è *polisillaba.* Il primo caso ha luogo quando è $d+y-x=85^m$, ovvero $d=42^m{,}5$; ed il secondo quando la differenza $d+y-x$ è multipla di 85 metri, oppure, essendo l'osservatore nel centro fonico, di 42 metri e mezzo. Frequentissimi sono gli esempj di eco unifona monosillaba. A Galbiate, ameno villaggio di Lombardia, havvi un eco unifona polisillaba, che ripete due versi endecasillabi. Sotto il ponte di Dora presso Torino ed alla Simonetta presso Milano havvi un eco polifona monosillaba: là un colpo di pistola, un grido viene ripetuto da quindici a venti volte; e qui fino a cinquanta. Ad ogni ripetizione il suono s'indebolisce, e sembra ripetuto, a dati intervalli da una persona che si allontani colla velocità del suono;

371. **Risuonanza — consonante — dissonante.** Allorquando la quantità $d+y-x$ è minore di 85 metri, il suono diretto ed il riflesso non si possono percepire distintamente, epperò non ha luogo l'eco; ma, aggiungendosi l'uno all'altro, il suono che ne risulta è rinforzato. Questo fenomeno chiamasi *risuonanza*, ed ha luogo facilmente nei grandi appartamenti. Le sale a pareti nude, sono risuonanti, perchè da una parte riflettono bene il suono, e dall'altra la distanza delle loro pareti non è generalmente tale da permettere il fenomeno dell'eco; invece le tappezzerie, specialmente di seta o di lana, che mal riflettono i suoni, rendono le sale poco risuonanti. La voce di un predicatore è più risuonante quando l'interno della chiesa è nudo, che non quando è coperto dalla tappezzeria; perchè nel primo caso il suono riflesso gode di una intensità molto maggiore, che non nel secondo caso. In generale la natura della superficie ha una grande influenza sulla intensità della risuonanza. Se dessa poi è formata da una sostanza elastica capace di vibrare per comunicazione, non solo aumenta l'intensità del suono, ma ne è cangiato anche il carattere fisico. La risuonanza si distingue in *consonante* e *dissonante*. Quando il suono riflesso si confonde col suono diretto in modo che le onde condensate dell'uno coincidano alle condensate dell'altro, e per conseguenza anche le rarefatte dell'uno alle rarefatte dell'altro, la risuonanza è *consonante*. Quando invece la coincidenza delle onde della stessa specie non è esatta, la risuonanza dicesi *dissonante*. Nella chiesa di s. Carlo a Milano parlando dal pulpito, ha luogo una risuonanza dissonante.

Interferenza del suono. Due suoni, che si propagano in un mezzo qualunque, possono incontrarsi, come abbiam visto, senza soffrire la minima modificazione; possono confondersi e dar luogo ad un suono rinforzato; e possono anche distruggersi a vicenda. Questa reciproca distruzione di due suoni chiamasi *interferenza*, ed avviene quando le loro ondulazioni, eguali nella intensità, nella direzione e nella lunghezza, si uniscono in modo che le onde condensate dell'uno coincidono colle onde rarefatte dell'altro. In questo caso le molecole del mezzo che trasmette i due sistemi di onde, vengono sollecitate in sensi contrarj, epperò rimangono in riposo.

372. **Rifrazione del suono**. Abbiam già detto (369) che quando un raggio sonoro arriva alla superficie di separazione di due mezzi elastici diversi, si divide in due distinti raggi, l'uno dei quali si riflette, e l'altro si propaga nel nuovo mezzo. Anche quest'ultimo raggio non mantiene la direzione del primitivo, ma vi devia più o meno, ed in un senso piuttosto che nel senso

opposto, a seconda della differenza dei due mezzi. Se il suono nel secondo mezzo si propaga più velocemente che non nel primo, il raggio sonoro si allontana dalla normale alla superficie di separazione, ed invece si avvicina alla medesima retta, quando la velocità del suono nel secondo mezzo è minore di quella che ha nel primo. Questo fenomeno è distinto col nome di *rifrazione* del raggio sonoro. Esso è una conseguenza dei principj di meccanica, e qui si possono ripetere le osservazioni fatte a prova della rifrazione del moto (243). Ma anche l'esperienza lo conferma. A questo scopo basta riunire, con un anello di latta, due calotte sferiche dello stesso diametro, fatte di collodio, in modo da formare un sacco od una specie di pallone a due superficie convesse. Riempito d'acido carbonico questo apparato, e collocato un piccolo orologio in attività sulla direzione dell'asse di esso, si constata che dal lato opposto, sul medesimo asse, e ad una certa distanza dal sacco, havvi un punto in cui il battito dell'orologio viene inteso con maggior intensità. I raggi sonori, attraversando il gas dell'apparato, sono deviati in modo da avvicinarsi all'asse in un punto comune. Le esperienze furono variate e ripetute, e sempre ebbero il medesimo risultato.

Le leggi della rifrazione del suono sono due: 1.° I seni degli angoli d'incidenza e di rifrazione hanno costantemente il medesimo rapporto, se i due mezzi non cangiano. 2.° Il raggio incidente ed il raggio rifratto si trovano nel piano perpendicolare alla superficie di separazione dei due mezzi. Chiamasi angolo di rifrazione quello formato dalla normale col raggio rifratto. Nei trattati della luce e del calorico ci occuperemo più a lungo del fenomeno della rifrazione, che si ripete colle medesime circostanze, e seguendo le stesse leggi.

Ombra sonora. Ciò che abbiamo esposto intorno alla trasmissione del suono da un mezzo ad un altro soffre una eccezione. Quando sulla via percorsa dal suono trovasi un corpo anelastico o di grave massa, la sfera sonora viene interrotta. Quella porzione dello spazio in cui, dalla presenza di questo corpo, viene impedita la propagazione del suono, chiamasi *ombra sonora*. Il limite dell'ombra sonora non è mai rigoroso, nè assoluto è il silenzio nell'ombra stessa, perchè una porzione degli altri raggi sonori nel suo processo soffre una deviazione particolare, all'incontro delle molecole del mezzo.

CAPO SECONDO

QUALITÀ DEL SUONO.

373. **Qualità del suono.** In un suono si distinguono tre qualità. La prima è l'intensità. Il suono di una campana vicina ha una certa energia, una intensità, che diminuisce quando da essa ci allontaniamo. La seconda qualità del suono è *l'altezza.* Di due suoni, che hanno eguale o diversa intensità, l'uno può essere più acuto dell'altro. Così diciamo che la voce di un cantore è più alta di quella di un altro. Ma ogni suono ha un terzo carattere, per cui si può ancora distinguere da un altro suono eguale per intensità ed altezza. Il suono dell'oboè è distintissimo da quello del flauto; il suono di una campana di bronzo è diverso da quello di una campana d'argento; il suono di una campana che abbia la stessa grossezza in tutta la sua estensione differisce dal suono di una campana molto grossa al labbro e sottile al vertice. Questa terza qualità del suono chiamasi ***metallo*** (*timbre*). La voce d'ogni uomo ha un metallo particolare, che varia coll'età.

ARTICOLO PRIMO

INTENSITÀ E METALLO DEL SUONO.

374. **Cause che modificano l'intensità del suono.** L'intensità del suono dipende, innanzi tutto, dall'ampiezza delle vibrazioni del corpo sonoro. Il suono è la sensazione prodotta sull'organo del nostro udito dalle vibrazioni della materia ponderabile; sarà dunque tanto più intenso quanto più energica sarà ciascuna delle medesime. Ma una vibrazione, col crescere d'energia, cresce d'ampiezza; perchè quanto maggiore è la forza che anima le molecole del corpo sonoro, tanto più lunga è la linea che percorrono nell'oscillare intorno alla loro posizione d'equilibrio. Dunque l'intensità del suono è in ragion diretta dell'ampiezza delle vibrazioni del corpo sonoro. E lo si può riconoscere esperimentalmente col far vibrare una corda tesa, la quale dà un suono che aumenta o diminuisce d'intensità coll'aumentare o col diminuire dell'ampiezza delle oscillazioni. Il calcolo dimostra che l'intensità del suono è proporzionale al quadrato dell'ampiezza delle vibrazioni. Siccome poi quanto più sono am-

pie le vibrazioni, a pari celerità, ossia compiendosi nello stesso tempo, tanto maggiore è la compressione e la velocità che le parti componenti l'onda sonora ricevono dal corpo vibrante e trasmettono da strato in strato, così si può anche dire che l'intensità del suono è in ragion diretta della compressione o velocità delle parti componenti l'onda sonora. Non si confonda però questa compressione o velocità delle molecole aeree oscillanti colla lunghezza dell'ondulazione, perchè l'intensità del suono dipende dalla prima, e per nulla dalla seconda. Infatti l'energia della vibrazione, come abbiam detto, influisce nell'ampiezza di essa e l'ampiezza influisce nel grado di costipazione dell'onda sonora, ma non già nella lunghezza della medesima. La lunghezza dell'onda dipende dal tempo, che impiega la molecola sonora a far la sua oscillazione; questo tempo è sempre il medesimo, qualunque sia l'ampiezza della vibrazione: la differenza è nello spazio percorso dalla molecola oscillante, e non nel tempo.

Da ciò consegue che, come viene verificato dall'esperienza, due suoni diversamente intensi, sono egualmente veloci; perchè sebbene le vibrazioni che li producono abbiano ampiezze diverse, e diano quindi luogo a onde diversamente compresse, pure queste onde hanno lunghezze eguali, e per conseguenza percorrono lo stesso cammino in tempi eguali.

L'estensione della superficie del corpo vibrante, e la vicinanza dei corpi sonori sono altre cause che aumentano l'intensità del suono. Una corda vibrante non produce che un suono debole, giacchè percuote l'aria con una superficie molto stretta, ed il movimento prodotto diminuisce rapidamente di energia per la comunicazione che si fa alle parti laterali dell'aria. Ma una campana si fa sentire molto lontano, a motivo dell'estensione di superficie colla quale agisce sull'aria circostante. La vicinanza di corpi sonori influisce allo stesso modo sulla intensità del suono. Una corda tesa all'aria libera, e fatta vibrare lungi da qualsiasi corpo sonoro, produce un suono debole, mentre tesa sopra una cassa sonora, come si fa nella chitarra, nel violino e nel contrabasso, dà un suono pieno ed intenso; il qual effetto è dovuto alla cassa ed all'aria in essa contenuta, che vibrano ambedue all'unissono colla corda. Dà qui l'uso delle casse sonore negli strumenti a corda. Savart, per dimostrare l'influenza dei corpi sonori sull'intensità del suono, faceva vibrare, col mezzo di un robusto archetto, un vaso emisferico di bronzo (fig. 337), vicino al quale collocava variamente un cilindro cavo di cartone, aperto all'estremità anteriore e chiuso all'altra. Mantenendo il cilindro rivolto colla sua estremità aperta e vicino al labbro del vaso, ot-

teneva suoni molto intensi; allontanandolo, sempre nella stessa direzione, il suono diminuiva gradatamente d'intensità; e cangiandogli direzione, il suono perdeva molto della sua intensità. Onde emerge, che il rinforzo del suono è dovuto alle vibrazioni dell'aria contenuta nel cilindro. Affinchè però quest'aria vibri all'unissono col vaso, il cilindro deve avere una profondità determinata. — Vitruvio riferisce che anticamente sui teatri si collocavano dei vasi risuonanti per rinforzare la voce degli attori.

In terzo luogo l'intensità del suono dipende dalla densità dell'aria nel luogo in cui esso si produce, e propriamente è in ragion diretta di questa densità. Essendo maggiore il numero delle molecole messe in movimento dalle vibrazioni del corpo sonoro, è naturale che debba essere anche più energica l'azione che per mezzo loro si trasmette. Abbiam già detto che collocando sotto il recipiente della macchina pneumatica una sveglia mossa da un congegno d'orologeria, di mano in mano che si rarefà l'aria, si sente decrescere l'intensità del suono. Nel gas idrogeno, che è circa 14 volte meno denso dell'aria, a pressione eguale, i suoni hanno una intensità molto minore che nell'aria. Al contrario nel gas acido carbonico, la cui densità, rispetto all'aria, è 1,52, i suoni sono più intensi. Sulle alte montagne, dove l'aria è assai rarefatta, bisogna alzare la voce per farsi udire, e l'esplosione di un'arma da fuoco produce un rumore poco intenso.

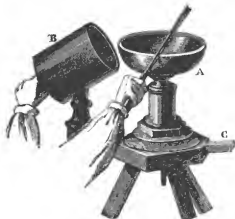



Fig. 337.

S'avverta però che, come accennava poc'anzi, l'intensità del suono è modificata dalla densità dell'aria nel luogo ove esso si produce, e non nel mezzo in cui si propaga. Chi ascende in un aerostato, giunto ad una certa altezza, mentre ode le grida di coloro che ha lasciato sulla superficie della terra, non può essere udito da loro. Parimenti alcuni scampati dalle valanghe attestano che nel pericolo udivano le voci di chi più al basso li cercava, mentre essi non potevano farsi udire da questi. E la ragione di questo fatto è evidente: passando il suono ad un mezzo

più denso di quello nel quale fu concepito, la stessa azione, generalmente parlando deve mettere in moto una quantità maggiore di materia, quindi riescirà meno intenso; e viceversa passando il suono ad un mezzo meno denso, la stessa azione deve muovere una massa minore, e per conseguenza l'effetto sarà più energico.

L'intensità del suono è, in quarto luogo, proporzionale alla omogeneità del mezzo nel quale esso si propaga. Imperocchè se questo non è omogeneo, i raggi sonori, ad ogni passaggio da una massa d'aria ad un'altra di diversa densità, soffrono una riflessione parziale, e quindi la porzione che di essi si trasmette va successivamente diminuendo, ossia perde di intensità. Nella notte e nei tempi freddi i suoni si trasmettono con maggiore intensità, appunto perchè allora l'aria è calma ed omogenea, mentre di giorno e nelle stagioni calde viene diversamente riscaldata nelle sue diverse parti, e per conseguenza cessa di essere omogenea.

Una quinta causa che modifica l'intensità del suono è la distanza. L'intensità del suono varia in ragione inversa del quadrato della distanza del corpo sonoro dall'organo dell'udito; cosicchè se un suono sentesi con una data intensità alla distanza *uno*, alla distanza *due* sentesi con una intensità quattro volte minore, alla distanza *tre* con una intensità nove volte minore, e così di seguito. Infatti, sia un punto sonoro; esso farà vibrare l'aria tutto intorno, ed il suono si propagherà sopra superficie sferiche concentriche, aventi per centro quel punto. Il suono sopra una di queste superficie avrà una certa intensità nei singoli punti di essa. Se lo consideriamo poi sopra di un'altra superficie concentrica più estesa, essendo sempre la medesima azione che mette in movimento l'aria di questa superficie, è chiaro che nei singoli punti di essa il suono sarà tanto meno intenso, quanto più estesa è la superficie, perchè di mano in mano che questa si estende, aumenta la massa da porre in movimento. Dunque l'intensità del suono è in ragione inversa delle superficie sferiche concentriche per le quali si propaga. Epperò rappresentando con A la sfera più piccola e con B la più grande, e chiamando I l'intensità del suono sulla prima, e con i l'intensità del suono sulla seconda, diremo che $I : i = B : A$. Ma, come sappiamo dalla geometria le superficie sferiche stanno fra loro come i quadrati dei raggi, e nel nostro caso i raggi sono le distanze delle due superficie dal punto sonoro o dal centro fonico; epperò chiamando con D la distanza della sfera piccola, e con d la distanza della sfera maggiore da quel punto, avremo che: $B : A = d^2 : D^2$; proporzione

che confrontata colla precedente dà luogo all'altra $I : i = d^2 : D^2$, ossia le intensità dei suoni sono in ragione inversa dei quadrati delle distanze dal punto sonoro. Questa legge però si verifica finchè il suono si propaga in un medesimo mezzo e di densità uniforme; ma se cambi il mezzo o la sua densità, essa non ha più luogo, perchè allora la massa posta in movimento non cresce più in proporzione alla superficie. Parimenti cessa la suddetta legge quando il suono non si propaghi sfericamente, perchè allora, come è facile concepire dalla natura della dimostrazione, non aumenta la superficie aerea messa in moto nel rapporto supposto. In un tubo essa non ha più luogo, e senza gli attriti e le resistenze, in esso, quando abbia lo stesso diametro in tutta la sua lunghezza, l'intensità del suono deve conservarsi costante a qualunque distanza, perchè è sempre la stessa azione che deve movere la stessa quantità di materia. Questo fatto fu verificato da Biot nelle sue esperienze sui suoni. Egli parlava sottovoce ad una delle estremità di un tubo lungo 900 metri circa, ed era udito da una seconda persona posta all'altro estremo. Un colpo di pistola, fatto ad una estremità di questo tubo, agitava l'aria anche all'estremità opposta, in modo da spegnere la fiamma di una candela.

Finalmente l'ultima causa che, come l'esperienza ci prova, può modificare l'intensità del suono, è il vento. Se l'aria, nella quale si propaga il suono, viene spinta da un luogo ad un altro dello spazio, è chiaro che nello stesso tempo viene abbreviata od accresciuta la via che il suono deve percorrere per arrivare ad un punto determinato; e quindi la intensità di esso deve aumentare o diminuire in ordine alla linea percorsa.

575. **Cornetto acustico — e portavoce.** La cognizione delle circostanze che influiscono sulla intensità del suono ha suggerita la costruzione di due apparati, l'uno dei quali, chiamato *cornetto acustico,* supplisce al difetto di sensibilità nell'orecchio, e l'altro, detto *portavoce,* serve a trasmettere la parola a grandi distanze. Il cornetto acustico consiste in un tubo conico di metallo, aperto e curvato alle due estremità. La base di questo si allarga oltre la direzione del rimanente, ed è destinata a ricevere il suono, mentre il vertice viene introdotto nel condotto auditivo. A questo modo gli strati d'aria, che si trovano fra l'origine del suono e l'organo dell'udito, compressi o dilatati alla base del cornetto, trasmettono la loro modificazione a strati sempre meno estesi, e per conseguenza la trasmettono con una intensità crescente.

Il portavoce è un tubo leggermente conico, rettilineo e molto

più lungo del cornetto acustico (fig. 338). Alla base porta esso pure un tubo di breve lunghezza, detto *padiglione*, avente la forma di un tronco di cono d'angolo maggiore; ed al vertice ha un rigonfiamento, che serve d'imboccatura, ed è fatto in modo da attorniare la bocca senza movimento delle labbra. Il rinforzo, da questo apparato prodotto nella voce di chi se lo tiene applicato alla bocca, non si può spiegare colle riflessioni successive delle onde sulle pareti interne del tubo; giacchè 1.° in questa ipotesi il padiglione non dovrebbe avere grande influenza nel fenomeno; 2.° la forma conica dovrebbe essere indispensabile; 3.° l'effetto del portavoce dovrebbe cessare, od almeno diminuire sensibilmente, quando se ne copra la superficie interna con un pannolano anelastico; 4.° il suono dovrebbe essere rinforzato solamente nella direzione dell'asse dello strumento, e non in tutte le direzioni, come avviene di fatto. L'azione del portavoce si deve attribuire al rinforzo prodotto nel suono dalla colonna d'aria contenuta nel tubo. Della notevole influenza del padiglione i fisici finora non sanno dare una ragione soddisfacente.

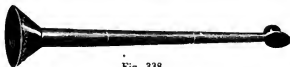



Fig. 338.

376. **Cause che modificano il metallo del suono.** Il metallo di qualche strumento musicale può dipendere da suoni particolari che accompagnino il suono principale; ma generalmente dipende dalla maniera secondo cui varia la velocità delle parti vibranti. Un corpo sonoro ha il più delle volte uno stato molecolare diverso da quello di un altro; anzi in uno stesso corpo le molecole si possono aggregare in diversa maniera, secondo le condizioni, alle quali vengono sottoposte. Se variano le forze e le relazioni molecolari, anche il modo di vibrazione delle molecole in un caso deve differire dal modo di vibrazione delle molecole nell'altro. Una tromba d'ottone crudo cangia totalmente metallo, quando la si faccia cuocere. Questa particolare maniera di vibrare delle molecole di ciascun corpo sonoro deve produrre una diversa modificazione nel veicolo del suono, e per conseguenza una impressione caratteristica sull'organo del nostro udito. Si dice pertanto che il metallo dipende anche dalla curvatura della ondulazione, giacchè le velocità ed i cangiamenti di densità che si succedono nei diversi strati d'aria sono in rapporto al movimento vibratorio del corpo sonoro.

ARTICOLO SECONDO

ALTEZZA DEL SUONO.

377. **Da che dipenda l'altezza del suono.** L'altezza del suono dipende dalla rapidità del movimento vibratorio, ossia dal numero delle vibrazioni compite dal corpo sonoro in un tempo determinato. Siccome poi aumentando la rapidità delle vibrazioni diminuisce la lunghezza delle corrispondenti ondulazioni; così dicesi pure che l'altezza del suono dipende dalla lunghezza della ondulazione. Fra due suoni il più alto è prodotto da un movimento vibratorio più rapido, e per conseguenza ha una ondulazione più corta di quella dell'altro. Da quanto abbiam detto si comprende la differenza che havvi tra il suono ed il rumore. Il rumore è un'impressione fatta sull'organo dell'udito, della quale non se ne può apprezzare direttamente il tono. Il rumore può essere il risultato di una mescolanza confusa di suoni, oppure può essere un suono troppo breve.

378. **Metodi per computare il numero delle vibrazioni prodotte, in un secondo, da un suono determinato.** Per avere una prova di quanto abbiam detto fa d'uopo saper numerare le vibrazioni che un suono determinato produce in un secondo di tempo. A questo scopo i fisici stabilirono diversi metodi più o meno esatti.

Metodo della ruota dentata. Uno di questi metodi è quello della ruota dentata, proposto da Savart. L'apparato che serve all'esperienza in questo caso, consiste in un robusto tavolo di rovere (fig. 339), nel cui piano è praticata una apertura secondo

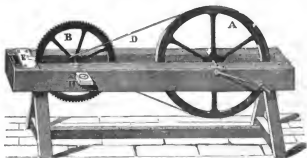



Fig. 339.

la lunghezza. In questa apertura possono muoversi due ruote A, B, la prima delle quali serve ad imprimere una grande velocità al-

l'altra, che è più piccola, ed ha la periferia munita di denti, destinati a far vibrare una carta E affissa al tavolato. Questa carta, essendo urtata al passaggio di ciascun dente, ad ogni rivoluzione della ruota piccola, fa tante vibrazioni quanti sono i denti. Finalmente sopra un piccolo cerchio graduato H gira un indice, che, posto in movimento dall'asse della ruota dentata, segna il numero di giri fatti dalla medesima in un dato tempo, e per conseguenza il numero delle vibrazioni. Comunicando dapprima alla ruota dentata un moto lento, si odono distintamente gli urti successivi dei denti contro la carta; ma aumentando gradatamente la velocità, si ottiene un suono continuo di mano in mano più acuto. Ciò posto per computare il numero delle vibrazioni di un suono, si aumenta la rapidità del movimento della ruota finchè l'apparato riproduce il suono stesso, come un orecchio esercitato potrà decidere con sicurezza; ed allora si mantiene costante la velocità della ruota per un determinato numero di secondi, e leggendo in seguito sul misuratore il numero di giri della ruota dentata B, basta moltiplicare questo numero per quello dei denti, per ottenere il numero totale delle vibrazioni. Dividendo in fine questo prodotto pel corrispondente numero di secondi, il quoziente dà il numero richiesto di vibrazioni per ogni secondo. Così per esempio, se faccio girare la ruota per cinque minuti secondi producendo il suono che voglio studiare, e trovo che l'indice del quadrante mi segna 20 giri e $^1/_4$, supposto che i denti della piccola ruota sieno 100, moltiplicando 100 per 20 e $^1/_4$ otterrò 2025, che sarà il numero delle vibrazioni compite nei cinque minuti secondi, e quindi $\frac{2025}{5} = 405$ sarà il numero delle vibrazioni compite in un secondo dal suono determinato.

Metodo della sirena acustica. Ma meglio della ruota di Savart, serve allo stesso scopo la sirena acustica, dovuta a Cagniard-Latour.

La parte inferiore della sirena consiste in una scatola cilindrica (figure 340 e 341), coperta da un piatto fisso, sul quale si appoggia un'asta verticale, a cui è unito un disco che può rotare liberamente insieme coll'asta. Nel piatto sono praticati dei fori circolari equidistanti, e nel disco si trova un'egual numero di fori di grandezze eguali, e distanti dal centro come quelli del piatto. Questi fori non sono diretti perpendicolarmente ai piani del piatto, ma sono tutti inclinati egualmente, e quelli dell'uno in direzioni parallele fra loro e in verso contrario a quelli dell'altro, come si può vedere nella figura 342.

L'asta verticale poi unita al piatto porta una vite perpetua (fig. 341), che trasmette il movimento del piatto ad una ruota di 100 denti. Questa ruota progredisce d'un dente ad ogni rotazione del disco, ed ha un appendice, che ad ogni giro fa avanzare d'un dente una seconda ruota collocata vicino. Gli assi di queste ruote fanno girare due indici, che si muovono sopra due circoli graduati (fig. 340) esterni all'apparato. L'uno dei due in-

Fig. 342.

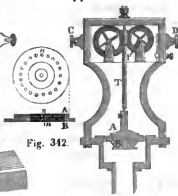



Fig. 340. Fig. 341.

dici segna le unità, e l'altro le centinaja di giri. I due bottoni, che si veggono esternamente, servono a far ingranare la ruota minore colla vite perpetua, od a liberarnela ad arbitrio dell'esperimentatore.

Quando vuolsi computare il numero delle vibrazioni corrispondenti ad un suono determinato si applica la sirena acustica al foro di una cassa rettangolare C (fig. 343) fissata sopra un tavolo, e messa in comunicazione con un mantice. È chiaro che comprimendo il mantice per mezzo dell'asta *t*, o con alcuni pesi, l'aria è spinta nella cassa rettangolare, e pel foro di questa nella parte inferiore della sirena. La corrente d'aria così determinata guadagna i fori del piatto, e percuotendo le pareti dei fori del disco, imprime a questo un movimento di rotazione nel senso della sua direzione, ossia nel senso dell'inclinazione dei fori del piatto. Epperò, supponendo, per amore di chiarezza, che il disco mobile abbia

Fig. 343.

25 fori, e il piatto fisso ne abbia uno solo, e considerando il caso in cui questo foro corrisponda ad uno dei fori superiori, è chiaro che quando il soffio del mantice viene ad urtare obliquamente la parete del foro superiore, il disco mobile comincia a girare, e la parte della superficie che trovasi fra due fori consecutivi va a chiudere il foro del piatto inferiore. Ma per la velocità acquistata, continuando il disco a girare, si pongono ancora di fronte due fori, onde nasce un nuovo impulso, e così di seguito. Per tal guisa nella durata d'una rotazione intiera del disco, l'orifizio inferiore si trova 25 volte aperto e 25 volte chiuso. Ne risulta una serie di efflussi e di fermate, che mettono in vibrazione l'aria, e riescono a produrre un suono allorchè i successivi impulsi sono abbastanza rapidi. Ora supponendo che il piatto fisso abbia 25 fori come il disco mobile, tutti questi fori produrranno simultaneamente lo stesso effetto, perchè essendo equidistanti in ciascun piano e corrispondenti, quando è aperto uno sono aperti tutti, e chiuso uno riescono chiusi tutti; e quindi il suono sarà 25 volte più intenso, ma il numero delle vibrazioni non verrà alterato.

Siccome poi il suono diventa sempre più acuto col crescere della velocità del disco, così basta far variare il soffio, fino a che lo strumento produca quel determinato suono che si vuol misurare. Allora si mantiene costante la corrente d'aria per un certo tempo, poi si legge sulle mostre il numero di giri che ha fatto il disco, si moltiplica questo numero per 25 (perchè ad ogni giro si hanno 25 vibrazioni), e si divide il prodotto pel numero dei minuti secondi di durata della corrente: il quoziente esprime il numero delle vibrazioni per ogni minuto secondo.

A pari velocità la sirena dà il medesimo suono nell'acqua, nell'aria e in tutti i fluidi; d'onde risulta, come già osservammo, che l'acutezza o il tuono del suono dipende unicamente dal numero delle vibrazioni, e non dalla natura del corpo sonoro.

Metodo grafico. Adoperando la sirena acustica o la ruota dentata di Savart, torna difficile determinare con precisione il numero di vibrazioni corrispondenti a un dato suono, poichè bisogna metterle all'unissono con questo, per il che ci vuole un orecchio esercitato. Il metodo grafico di Duhamel, più semplice e più preciso, non presenta questa difficoltà, e consiste nel fissare al corpo sonoro uno stilo leggero, che ne traccia le vibrazioni su di una superficie convenientemente preparata. L'apparato di Duhamel risulta da un cilindro di legno o di metallo (fig. 344), munito di un asse verticale, che per mezzo di un manubrio si può far ruotare in un verso o nell'altro, e moverlo

di alto in basso, o di basso in alto, pel beneficio di un passo di vite, scolpito sull'asse medesimo e mobile in una madrevite. Intorno al cilindro è avvolto un foglio di carta coperto di uno strato leggero e non aderente di nero di fumo. A piccola distanza del cilindro si colloca il corpo sonoro, fermo ad una delle sue estremità, e munito all'altra di uno stilo leggero che rasenta la superficie del cilindro, mentre questo va ruotando. Se il cilindro gira senza che la lamina vibri, lo stilo traccia in bianco sul fondo nero una linea elicoidale regolare; ma se la lamina vibra, la linea è ondulata, e le ondulazioni sono tante quante le vibrazioni della lamina.

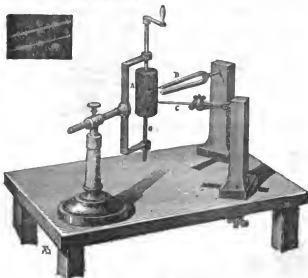



Fig 344. Fig. 345.

Per determinare poi il tempo, durante il quale si sono effettuate queste vibrazioni, si confronta la curva tracciata dalla lamina vibrante con quella tracciata da un *corista*. Il *corista*, o *diapason* (fig. 345), consiste in una verga d'acciajo ricurva a guisa di pinzetta, che si fa vibrare o fregandone i lembi con un archetto, o allontanando rapidamente i due rami per mezzo d'un cilindro di ferro, che s'introduce a forza fra i medesimi. I due rami allontanati in tal modo dalla loro posizione di equilibrio, vi ritornano vibrando, e producono un suono, che per ciascun corista è costante, epperò produce un numero di vibrazioni, in ogni secondo, determinato e costante. Il suono si rinforza fissando lo strumento sopra una cassa di legno tenero, aperta

ad un estremo. Per usare del corista allo scopo indicato, si fissa ad uno de' suoi rami uno stilo leggero, che si mette in contatto colla superficie annerita del cilindro, indi si fa vibrare simultaneamente alla lamina. I due stili tracciano allora sul foglio di carta, avviluppante il cilindro, due elici inegualmente ondulate; epperò distendendo questo foglio, e confrontando i numeri d'oscillazioni corrispondenti sulle due curve, torna facile il dedurre quante vibrazioni compì la lamina in un minuto secondo. Suppongasi, a cagion d'esempio, che il suono del corista adoperato sia tale da produrre 500 vibrazioni in un minuto secondo, e che sul foglio di carta a 150 vibrazioni del corista corrispondano 165 vibrazioni della lamina: siccome una vibrazione del corista dura $^1/_{500}$ di minuto secondo, così 150 durano $150 \times {^1/_{500}}$, ossia $^{150}/_{500}$; ma le 165 vibrazioni della lamina furono compite nello stesso tempo, dunque in $^{150}/_{500}$ di minuto secondo. Se in $^{150}/_{500}$ di minuto secondo ne ha compite 165, ne compirà $^{165}/_{150}$ in $^1/_{500}$ di minuto secondo; e per conseguenza $^{165}/_{150} \times 500$ in un minuto secondo, ossia 550.

Metodo ottico. L'ultimo metodo, recentemente adottato, per computare il numero delle vibrazioni corrispondenti ad un suono, è quello che può chiamarsi *ottico*. Il corista, che dona l'unissono del suono da studiarsi, porta ad una branca un piccolo specchio metallico *m* (fig. 346), ed all'altra ha un contrappeso *n*. L'ap-

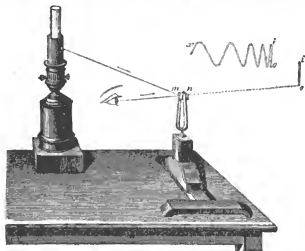



Fig. 346.

parato è disposto in modo che può ruotare attorno l'asse; e la

velocità di questo movimento viene segnata da un contatore analogo a quello della sirena acustica. Alla distanza di alcuni metri dallo specchio è posta una lampada, circondata da una lamina opaca, nella quale è praticato un piccolo foro. Un osservatore che si collochi in modo da ricevere i raggi luminosi sortiti da questo foro, e riflessi dallo specchio *m*, vedrà in *o* un piccolo cerchio luminoso, se tutto sarà in quiete. Ma facendo vibrare il corista, esso vedrà tosto l'immagine luminosa allungarsi verticalmente, più o meno secondo l'ampiezza delle oscillazioni. Imperocchè l'estremità *m*, nelle vibrazioni, descrive un arco di cerchio, e quindi si abbassa e si eleva alternativamente: l'impressione ch'essa fa nell'occhio dura per un tempo più lungo di quello che essa impiega a compiere una vibrazione, e per conseguenza l'osservatore percepisce un'immagine persistente *oi*. Se al movimento oscillatorio dello specchio si unisce il movimento rotatorio, si ha un'immagine sinuosa *oix*. Quando poi si dispongano le cose in maniera che il corista ad ogni giro riceva un impulso, e si faccia variare la velocità del moto rotatorio finchè in ogni rivoluzione si compia un numero intero di vibrazioni, l'immagine sinuosa corrispondente ad un periodo, per la persistenza dell'impressione prodotta nell'occhio, si soprapporrà a quella che corrisponde al periodo precedente, ed apparirà costantemente uno spazio chiuso, diviso a parti eguali. Il numero di queste parti sarà eguale a quello delle vibrazioni in ogni rivoluzione. Per conseguenza, se l'apparato compie in un minuto secondo un numero *n* di giri, e le parti dell'immagine sono, per ipotesi, 8, è chiaro che il corista in un minuto secondo fa 8*n* vibrazioni.

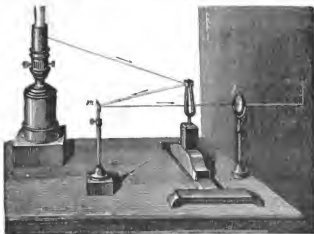



Fig. 347.

Quando poi si voglia avere l'immagine luminosa sopra di uno schermo, si dispone l'esperienza nel modo rappresentato dalla figura 347. Il fascio luminoso dallo specchio unito al corista viene riflesso sopra un secondo specchio *m*, che, attraverso ad una lente *l*, lo dirige ad uno schermo disposto nella maniera opportuna.

Fonautografo. Leone Scott ebbe la felice idea di costrurre un apparato che permettesse di scrivere le vibrazioni dell'aria, conservando, fino ad un certo limite, alcune particolarità che possono accompagnare il suono. Il fonautografo di Leone Scott consiste in un elissoide cavo AB (fig. 348), fatto di materia poco

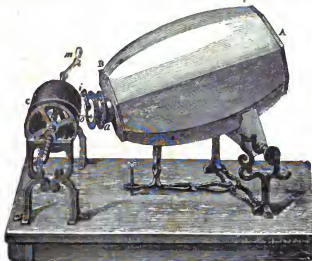



Fig. 348.

vibrante, come per esempio di gesso, lungo circa 50 centimetri, e nel mezzo largo circa 30 centimetri. Il suono viene prodotto all'estremità A aperta, e le vibrazioni dall'aria interna si trasmettono ad una membrana sottilissima e flessibile, che chiude il tubo *a* di rame, in cui termina l'estremità B. Questa membrana è tesa sopra un anello mobile, che per mezzo di tre viti si unisce ad un altro anello, fisso al tubo *a*: stringendo più o meno le viti si aumenta o si diminuisce la tensione della membrana. Al tubo *a* si può dare quella qualunque inclinazione che meglio aggrada; ed alla membrana è applicato esternamente uno stilo *o* leggerissimo, che partecipa a tutti i movimenti di essa. La punta

dello stilo affiora la superficie di un cilindro di rame C, che si fa ruotare per mezzo di una manovella *m*, ed il cui asse porta una vite che lo fa avanzare. Sul cilindro C è disteso un foglio di carta, il quale venne coperto da uno strato di nero di fumo, prodotto da una lampada senza vetro, in cui abbruei olio ordinario mescolato ad un terzo d'olio di resina. Questo intonaco è talmente leggero che lo stilo il più flessibile lo distacca ovunque passa, mettendo a nudo la carta, e segnando le proprie vibrazioni. La figura 349 rappresenta la traccia dello stilo in una esperienza. Le figure così ottenute indicano fedelmente il numero, l'ampiezza e l'isocronismo delle vibrazioni. Le parti che le compongono sono ampie se il suono è intenso, piccole se è debole; sono vicine quando il suono è acuto, e si allontanano quando è grave; formano un disegno regolare allorchè il metallo del suono è puro, ed irregolare se non è tale.

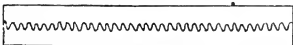



Fig. 349.

Per conservare questi disegni s'immerge la carta nell'alcool; e dopo d'averla fatta asciugare, la si intinge nell'acqua albuminosa od in una dissoluzione alcoolica di sandracca.

379. **Limiti dei suoni percettibili**. La conseguenza immediata delle esperienze fatte coi diversi metodi descritti, è che il numero o la rapidità delle vibrazioni, corrispondenti ad un suono, cresce in ragion diretta della acutezza. Ma, come una vibrazione troppo lenta, così anche una troppo rapida non produce punto la sensazione del suono. I fisici attualmente ammettono che il limite dei suoni gravi corrisponda a 32 vibrazioni semplici, e quello dei suoni acuti a 73,700 vibrazioni semplici per secondo.

380. **Rapporti d'altezza dei suoni**. Il nostro orecchio apprezza il grado d'altezza dei suoni, e fra due suoni sa distinguere non solo qual'è il più alto, ma anche qual rapporto vige fra i numeri delle vibrazioni che loro corrispondono. Non apprezziamo numericamente questo rapporto, ma ne abbiamo il sentimento. Avviene dell'udito ciò che si verifica dell'occhio. La bellezza di un monumento d'architettura, per esempio, l'incantesimo di una fisonomia di Canova sta nella perfezione della simmetria nelle proporzioni. Se, per ipotesi, alzate di poche linee il contorno dell'occhio, o rimovete dall'asse il centro della bocca,

quel lavoro cessa di piacere. Abbiamo dunque il sentimento delle proporzioni fra le linee di quel lavoro, sebbene non ne conosciamo il loro rapporto numerico. Se poi l'oggetto risulta da varie parti aggregate in rapporti complicati, difficili a percepirsi, esso non piace, ad onta della perfezione che possono avere le parti stesse considerate singolarmente. Allo stesso modo l'orecchio riceve una impressione gradita dai suoni vicini o simultanei corrispondenti a numeri di vibrazioni in rapporto semplice, sicchè ne possa facilmente paragonare le impressioni.

Scala musicale. Chiamasi *scala musicale* la serie di suoni che fra i limiti percettibili si succedono con graduato e distinto aumento di altezza. I suoni della scala musicale crescono in modo che la loro altezza si raddoppia periodicamente di sette in sette. Ognuno di questi periodi di sette suoni dicesi *gamma*, ed i sette suoni, che chiamansi *note*, dagli Italiani e Francesi hanno ricevuti i nomi *do, re, mi, fa, sol, la, si;* gli Inglesi e gli Alemanni invece li distinguono colle lettere C, D, E, F, G, A, B.

Numeri relativi delle vibrazioni corrispondenti alle sette note di una gamma. Se con uno qualunque dei metodi descritti si confrontano fra loro le sette note di una gamma, rappresentando con 1 il *do,* ossia il suono più grave di essa, si trova che i numeri corrispondenti alle altre note sono rappresentati dalle frazioni $^9/_8$ (re) — $^5/_4$ (mi) — $^4/_3$ (fa) — $^3/_2$ (sol) — $^5/_3$ (la) — $^{15}/_8$ (si); e traducendo questi rapporti in numeri interi si ha:

do	re	mi	fa	sol.	la	si
24'	27'	30'	32'	36'	40'	45'

381. **Intervalli.** Il rapporto fra un suono ed un altro si chiama intervallo. L'intervallo da *do* a *re* si chiama una *seconda;* quello da *do* a *mi* una *terza;* da *do* a *fa* una *quarta;* da *do* a *sol* una *quinta;* da *do* a *la* una *sesta;* da *do* a *si* una *settima;* e dal *do* di una solfa al *do* della solfa seguente un'*ottava.*

La tavola seguente dà gli intervalli delle note consecutive della solfa, ottenuti dividendo il numero di vibrazioni di una nota qualunque per quello delle vibrazioni della nota immediatamente inferiore.

Intervallo fra *do* e *re* $= {}^9/_8 : 1 = {}^9/_8$
» » *re* e *mi* $= {}^5/_4 : {}^9/_8 = {}^{40}/_{36} = {}^{10}/_9$
» » *mi* e *fa* $= {}^4/_3 : {}^5/_4 = {}^{16}/_{15}$
» » *fa* e *sol* $= {}^3/_2 : {}^4/_3 = {}^9/_8$
» » *sol* e *la* $= {}^5/_3 : {}^3/_2 = {}^{10}/_9$
» » *la* e *si* $= {}^{15}/_8 : {}^5/_3 = {}^{45}/_{40} = {}^9/_8$
» » *si* e *do* $= 2 : {}^{15}/_8 = {}^{16}/_{15}$.

Da ciò si scorge che gli intervalli differenti si riducono a tre, che sono $^9/_8$, $^{10}/_9$ e $^{16}/_{15}$. Il primo si chiama *tono maggiore;* il secondo *tono minore;* e il terzo *semitono maggiore.* Tutti gli intervalli delle note consecutive sono dunque di un tono, se si eccettuano gli intervalli fra il *mi* ed il *fa*, e fra il *si* ed il *do*, che sono di un semitono. La solfa composta dei sette suoni corrispondenti ai numeri relativi indicati di vibrazioni, chiamasi *solfa diatonica dura.* Che se per numero corrispondente al *mi* invece del $^5/_4$ si piglia il $^6/_5$, si ha la *solfa diatonica molle;* ed il rapporto fra $^5/_4$ e $^6/_5$, il loro intervallo, o il quanto di cui si è diminuito il numero delle vibrazioni del *mi*, passando dalla scala dura alla molle, cioè $^{25}/_{24}$, che è il quoziente di $^5/_4$ per $^6/_5$, si chiama *semitono minore.* Il rapporto tra il tono maggiore e il tono minore si chiama *comma*, ed è rappresentato da $^{80}/_{81}$. È il più piccolo intervallo che si consideri, e per apprezzarlo si richiede un orecchio esercitato.

Diesis — bemolli. Spesse volte nelle composizioni musicali riescono utili anche i suoni intermedj fra le note che distano di un tono intero, ossia anche le note abbassate od elevate di un semitono minore; epperò soglionsi i medesimi rappresentare coi nomi delle note laterali, affetti dal segno ♯, detto *diesis*, o dall'altro ♭, detto *bemolle.* Una nota affetta da diesis è alzata di mezza voce o di mezzo tono, ossia se ne suppone aumentato il numero delle vibrazioni nel rapporto di 24 a 25; e una nota affetta dal segno bemolle va abbassata di mezzo tono, ossia bisogna diminuirne il numero delle vibrazioni nel rapporto di 25 a 24. Quindi la solfa con queste note intercalate viene composta di dodici suoni distinti e si dice *cromatica.* Sarebbe la seguente:

do, do ♯, re, re ♯, mi, fa, fa ♯, sol, sol ♯, la, la ♯, si.

ovvero: do, re ♭, re, mi ♭, mi, fa, sol ♭, sol, la ♭, la, si ♭, si.

Portare una nota al diesis, o portare la seguente al bemolle non è rigorosamente lo stesso; ma in pratica non si fa divario fra queste due espressioni.

382. **Accordo.** I musici chiamano, nel linguaggio ordinario, accordo la simultaneità di due o più suoni. La loro unione può piacere o dispiacere a chi li ascolta; epperò nel primo caso l'accordo si dice *consonante* o *consonanza*, o semplicemente *accordo;* e nel secondo caso si dice *dissonante* o *dissonanza*, od anche *disaccordo.*

Gli accordi più semplici sono: l'*unissono*, ossia l'accordo di due suoni prodotti da un egual numero di vibrazioni per ogni secondo; *l'ottava*, ossia l'accordo di due suoni, che hanno un'ottava d'intervallo, ossia sono prodotti l'uno da un numero di vibrazioni doppio di quello delle vibrazioni dell'altro; *la quinta*, ossia l'accordo di due suoni, che hanno una quinta d'intervallo, cioè di tre toni e mezzo, ossia che sono prodotti l'uno da un numero di vibrazioni che è una volta e mezzo il numero delle vibrazioni dell'altro; *la terza maggiore*, ossia l'accordo di due suoni, che hanno una terza d'intervallo, o due toni, ossia tali che l'uno sia prodotto da un numero di vibrazioni che è una volta e un quarto quello dell'altro; *la terza minore*, ossia l'accordo di due suoni che hanno d'intervallo un tono e mezzo (come *re* e *fa*, *mi* e *sol*); *la quarta*, cioè l'accordo di due suoni che hanno una quarta d'intervallo, ossia due toni e mezzo, ossia che sono prodotti l'uno da un numero di vibrazioni di una volta e un terzo quello dell'altro; *la sesta*, o l'accordo di due suoni che hanno una sesta d'intervallo, ossia quattro toni e mezzo, l'uno dei quali è prodotto da un numero di vibrazioni che è una volta e due terzi quello dell'altro; e finalmente la *terza* e *quinta*, ossia l'accordo di tre suoni, dei quali il medio dista dall'uno di due toni, e dall'altro di un tono e mezzo. Tale è l'accordo di *do*, *mi*, *sol*; il primo ed il secondo formano una terza maggiore, il secondo ed il terzo una terza minore, ed il primo col terzo una quinta; i numeri delle vibrazioni corrispondenti stanno fra loro come 1, $^5/_4$ e $^3/_2$, ossia riducendo queste tre frazioni allo stesso denominatore 4, come $^4/_4$, $^5/_4$ e $^6/_4$, ossia come 4, 5 e 6. Di tutti gli accordi questo è quello che produce la sensazione più gradita all'orecchio; si chiama *modo maggiore* o accordo, e *armonica* la proporzione che da quei numeri risulta, ed è la seguente: $1 : {}^3/_2 = 1 - {}^5/_4 : {}^5/_4 - {}^3/_2$; giacchè $1\ ({}^5/_4 - {}^3/_2) = {}^3/_2\ (1 - {}^5/_4)$, ossia ${}^5/_4 - {}^3/_2 = {}^3/_2 - {}^{15}/_8$.

Non è però a credere che nella musica si introducano solo gli accordi più o meno consonanti: giovano anche le dissonanze. La facoltà dell'udire, come tutte le altre facoltà sensitive, opera nell'organo materiale, il quale viene a stancarsi ed anche col lungo andare a logorarsi; epperò è necessario di tratto in tratto il riposo, ed i musici l'ottengono o dalla varietà prodotta per le dissonanze o dall'inerzia prodotta pel silenzio. Le dissonanze sono un tornagusto, un amaricante che ritempra la fibra perchè meglio gusti la dolcezza successiva; le pause sono come il totale riposo, una specie di sonno, ove la fibra sospende ogni esercizio. Una nota colla sua seconda, ossia due note consecutive fanno dissonanza.

Le note che fanno accordo sono prodotte da numeri che hanno rapporti semplicissimi. Così le vibrazioni del *do* e del *mi* stanno fra loro come 4 sta a 5, ossia ogni quattro vibrazioni del *do* ne succedono cinque del *mi*. Ogni quattro vibrazioni adunque del *do*, ed ogni cinque del *mi* vi ha coincidenza di vibrazione. Le note invece che danno disaccordo come il *do* ed il *re*, corrispondono a numeri di vibrazioni che stanno fra loro in rapporto composto.

383. **Suoni armonici**. Si chiamano con questo nome i suoni corrispondenti a numeri di vibrazioni che stanno fra loro come la serie dei numeri intieri.

384. **Numeri assoluti delle vibrazioni corrispondenti ad ogni nota di una gamma**. Per determinare i numeri assoluti delle vibrazioni corrispondenti alle note di una gamma qualunque, basta computare, colla sirena acustica, il numero delle vibrazioni che corrispondono al *do* di questa gamma, e poi moltiplicare il numero stesso per le frazioni che rappresentano il rapporto del *do* colle altre note.

385. **Solfa fondamentale**. La scala musicale non ha limiti certi e generali; epperò, onde avere un punto di partenza nella musica, si convenne di assumere come fondamentale quella solfa il cui *do* corrisponde al suono più grave del violoncello, e di numerare tutte le solfe più alte, cominciando da questa, secondo la serie dei numeri intieri considerati positivamente, e tutte le solfe più basse, cominciando da quella che immediatamente la segue, secondo i numeri stessi presi negativamente. Il numero corrispondente ad una solfa vien aggiunto a ciascuna nota della solfa stessa. Così abbiamo i do_1, do_2, ecc., ed i do_{-1}, do_{-2}, ecc.

Al suono più grave del violoncello, ossia al *do* della solfa fondamentale corrispondono 128 vibrazioni. Quindi i numeri assoluti delle vibrazioni corrispondenti alle note di questa solfa sono i seguenti: $\frac{\text{do}}{128}$, $\frac{\text{re}}{144}$, $\frac{\text{mi}}{160}$, $\frac{\text{fa}}{170}$, $\frac{\text{sol}}{192}$, $\frac{\text{la}}{214}$, $\frac{\text{si}}{240}$.

I numeri delle vibrazioni dei suoni delle gamme superiori si ottengono moltiplicando per 2, per 4, per 8... i numeri precedenti; e quelli dei suoni delle gamme inferiori dividendo i numeri stessi per 2, per 4, per 8, ecc. Per esempio, il numero delle vibrazioni del mi_3 è eguale a 160×4, ossia 640.

386. **Lunghezza delle onde**. Dal numero assoluto delle vibrazioni di un corpo sonoro è facile dedurre la lunghezza delle onde del suono prodotto. Il suono alla temperatura di 10° percorre 337^m al secondo: quindi l'onda sonora corrispondente ad una vibrazione per secondo ha la lunghezza di 337^m; quella che

corrisponde a due vibrazioni ha per lunghezza $\frac{337^m}{2}$, e per conseguenza si hanno i risultati esposti nella tavola seguente.

Numero delle vibrazioni per secondo	Lunghezza delle onde in metri	Indicazione delle ottave	Numero delle vibrazioni per secondo	Lunghezza delle onde in metri	Indicazione delle ottave
1	337^m,	—	1024	0,0791	do_4 (terzo do del violone)
32	10,5312	do_2 (suono più grave dell'organo)	2048	0,0395	do_5
64	5,2656	do_1 (primo do del pianoforte)	4096	0,0197	do_6
128	2,6328	do_1	8192	0,0098	do_7 (ultimo do dell'organo)
256	1,3164	do_2 (do grave del violone)	16384	0,0049	do_8
512	0,1582	do_3 (secondo do del violone)	32768	0,0024	do_9
			65536	0,0012	do_{10}

In generale, il numero delle vibrazioni è in ragione inversa della lunghezza dell'onda, e si ottiene quest'ultima dividendo il numero che rappresenta lo spazio percorso dal suono in un tempo determinato pel numero delle vibrazioni che nel medesimo tempo corrispondono al suono stesso.

387. **Battimenti**. Quando i numeri delle vibrazioni di due suoni, che si producono simultaneamente, differiscono poco fra loro, si ode, ad intervalli eguali, un rinforzo di suono che si chiama *battimento*. Esso non è altro che l'effetto della periodica coincidenza delle vibrazioni dei due suoni.

Suono risultante — o di Tartini. Allorchè i battimenti sono abbastanza vicini perchè n'abbiano luogo almeno 32 per secondo, essi formano un suono grave, detto *suono risultante*, che si distingue chiaramente dagli altri due suoni. Supponiamo di produrre contemporaneamente il do_2 e il sol_2. In un minuto secondo il primo fa 256 vibrazioni, e l'altro ne fa 384, numeri che stanno fra loro come 1 : $^3/_2$; quindi mentre il primo fa due vibrazioni, il secondo ne fa tre. Dunque la coincidenza delle pulsazioni ha luogo ogni due vibrazioni del do_2 e tre del sol_2: le vibrazioni coincidenti sono così la metà di quelle del do_2, epperò generano il *do*. Questi suoni così generati chiamansi anche *suoni*

di Tartini, il quale voleva assumere questo fatto come principio di un nuovo sistema d'armonia. In ordine ai suoni in discorso dobbiamo qui riferire alcuni importanti risultati di molte esperienze del celebre Zantedeschi di Padova. 1.° Il numero esprimente il terzo suono è sempre la differenza dei due suoni dati. Così nel caso supposto precedentemente 128 è il numero esprimente il do_1, generato dal do_2 e dal sol_2, che appunto è eguale 384 — 256. Da questa legge fondamentale derivano quasi tutte le altre. 2.° Il terzo suono si trova ora più basso ora più alto del più grave tra i due suoni, secondo che la differenza delle vibrazioni rappresentanti questi due suoni è minore o maggiore del numero delle vibrazioni che rappresenta il suono più grave; ma esso non è mai più alto dei due suoni dati, non potendo mai la differenza di due numeri positivi superare il maggiore di essi. 3.° Il suono risultante è tanto più vicino all' acuto dato, quanto questo trovasi più distante dal suono grave. 4.° Il terzo suono non è sempre il massimo comune divisore dei due suoni dati, come fu stabilito da alcuni fisici quasi legge generale; giacchè se questa legge si avvera in molti casi, in molti altri fallisce. 5.° Il tono rappresentato da 32 vibrazioni per secondo è il limite del terzo suono netto e distinto; infatti, se la differenza dei due suoni dati è minore di 32 non si sente più che un battimento, il quale è fortissimo nei toni più gravi. Egli è vero però, come abbiamo altrove osservato, che questo limite può variare secondo gli orecchi. 6.° Dato il valore di due suoni, si può sempre determinare a priori il terzo suono o battimento risultante, che è la loro differenza.

388. **Composizione ottica di due moti vibratorj**. Lissajous ha trovato il modo di rendere visibili gli accordi, i battimenti, ecc.; di modo che si possa giudicare della loro esistenza e della loro qualità, anche senza il soccorso dell'orecchio. Per ripetere l'esperienza di questo fisico, si dispongono due coristi verticali, armati di specchio, in modo che lo specchio dell' uno sia opposto e parallelo a quello dell' altro (fig. 350), sicchè il raggio luminoso, riflesso dal primo, cada sul secondo, e di là venga diretto ad uno schermo, attraverso una lente convergente. In seguito si mettono in vibrazione ambedue i coristi. Allora si osserva che 1.° quando essi sono perfettamente all'unissono, l'allungamento dell'immagine luminosa sullo schermo è maggiore o minore di quello che sarebbe prodotto dalla vibrazione di un corista solo (378), a seconda che havvi concordanza o discordanza fra i moti simultanei impressi all' immagine dalle vibrazioni degli specchi. Se i due coristi passano nello stesso tempo

e nello stesso verso per la loro forma di equilibrio, l'immagine arriva al suo massimo di grandezza. Se invece i due coristi passano per la loro forma di equilibrio, nello stesso tempo, ma in verso contrario, la grandezza dell'immagine tocca il suo minimo. Fra questi due limiti, la grandezza dell'immagine varia col tempo, più o meno lungo, che scorre fra gli istanti del passaggio dei due coristi nella loro forma di equilibrio. Lissajous chiama *differenza di fase* il rapporto fra questo tempo e quello di una vibrazione. In questo caso, qualunque sieno le circostanze del fenomeno, la traccia luminosa, projettata sullo schermo, è sempre rettilinea, e sempre egualmente larga. 2.° Ma quando l'accordo fra i due coristi non è perfetto, la grandezza dell'immagine varia periodicamente, e mentre si odono i battimenti prodotti dal difetto di accordo, si veggono anche le pulsazioni concomitanti dell'immagine.

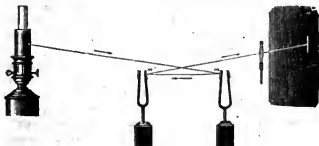



Fig. 350.

Le relazioni fra i suoni prodotti dai due coristi si manifestano in modo ancora meglio determinato, quando l'uno dei due strumenti è orizzontale (fig. 351), mentre l'altro è verticale. È chiaro

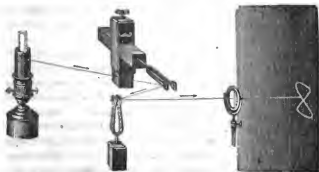



Fig. 351.

che facendo vibrare il solo corista orizzontale, deve apparire

sullo schermo una traccia luminosa orizzontale; ed invece facendo vibrare solo l'altro, la traccia luminosa deve essere verticale. Ma se contemporaneamente si mettono in vibrazione ambedue i coristi, i due movimenti si combinano, ed il fascio riflesso descrive sullo schermo una curva più o meno complicata, la cui forma dipende dal rapporto che vige fra i numeri delle vibrazioni compite nello stesso tempo dai due coristi. Con questo processo si possono confrontare nella maniera la più esatta i numeri delle vibrazioni di due corpi sonori.

CAPO TERZO

STRUMENTI D'ACUSTICA.

389. **Strumenti d'acustica — e loro divisione**. Chiamasi *strumento d'acustica* qualunque corpo posto in condizioni tali da vibrare, sotto un impulso determinato, in modo rapido ed uniforme. Ordinariamente questo corpo è una massa d'aria racchiusa in un tubo di grande lunghezza in ordine alle altre due dimensioni, oppure un solido in cui una dimensione differisce molto dalle altre due, come una corda, una verga, una lastra, ecc. Qualunque però sia la costruzione dello strumento d'acustica, il corpo posto in vibrazione, può dividersi, a mille guise, in parti vibranti, separate da punti, linee o superficie in riposo, che si chiamano *nodi, linee nodali, e superficie nodali.* Il mezzo della parte vibrante chiamasi *ventre.* A ciascun nodo di divisione corrisponde un suono particolare. Quindi uno strumento d'acustica può dare un suono piuttosto che un altro, secondo che nella vibrazione può dividersi in questa od in quella maniera; e la parte principale nello studio degli strumenti d'acustica consiste nell'esaminare le leggi di questa divisione del corpo vibrante.

Gli strumenti d'acustica si distinguono, secondo Savart, in due classi. L'una comprende gli strumenti *semplici,* e l'altra i *composti.* Questo fisico chiama semplici quelli strumenti nei quali il suono del corpo vibrante non è rinforzato per la comunicazione delle sue vibrazioni ad altre parti dello strumento; e composti quelli nei quali ha luogo il rinforzo accennato.

Noi studieremo prima gli strumenti costituiti da una massa d'aria vibrante, detti *strumenti a vento;* ed in seguito esamineremo quelli nei quali la parte principale è una corda, una verga, una lastra, ecc. Ma, piuttosto che della loro costruzione, ci occuperemo delle leggi sulle loro vibrazioni.

ARTICOLO PRIMO

STRUMENTI A VENTO.

390. **Modo di mettere in vibrazione l'aria**. Per far vibrare direttamente l'aria contenuta in un tubo basta imprimere alle molecole di essa un rapido movimento alternativo. Così si può ottenere un suono per mezzo della sortita periodica di un gas nell'aria, o per mezzo di una serie di urti, se le pulsazioni prodotte sono abbastanza rapide. Il fenomeno dell'armonica chimica (304) è prodotto dalle esplosioni che si succedono rapidamente. L'aria della corrente che si determina nel tubo si mescola al gas idrogeno non ancora abbruciato; la mescolanza detuona; ma si rinnovella nell'istante successivo, e le esplosioni sono abbastanza vicine per produrre un suono. Si può ottenere un suono anche mettendo in comunicazione con un serbatojo d'aria un tubo, il cui orifizio sia sfiorato dai denti di una ruota, animata di un rapido movimento ruotatorio. Ma il mezzo più comune per mettere in vibrazione l'aria di un tubo, è quello di dare all'imboccatura di questo una forma tale da ricevere una corrente d'aria non in modo continuo, ma solo ad intermittenze. A questa maniera, se tutto è fatto nelle debite proporzioni, si eccita nella massa gasosa del tubo una successione rapida di condensazioni e di rarefazioni, che producono un suono. Secondo la disposizione data alla imboccatura del tubo per ottenere un siffatto movimento nell'aria contenutavi, i tubi sonori o gli strumenti a vento si distinguono in due classi, *a bocca ed a linguetta.*

391. **Strumenti a bocca.** Negli strumenti a bocca l'aria da un mantice arriva alla parte inferiore *q* (fig. 352) di un tubo, s'introduce nel *piede*, e sfugge per una stretta fenditura, che si chiama la *luce,* praticata all'alto del piede. La sottil falda gasosa, che sorte dalla luce, va ad infrangersi contro il *labbro superiore*, tagliato ad ugnatura, del foro o *bocca b*, aperta nella parte laterale del tubo, vicino alla luce; e così si comprime, e sospende la corrente. Ma questa reagisce appena ch'abbia acquistata un'elasticità sufficiente. Il fenomeno si ripete, e si determinano delle pulsazioni successive che, trasmettendosi alla massa gasosa del tubo, la mettono in vibrazione, e le fanno produrre un suono. Le figure 353 e 354 rappresentano

Fig. 352. Fig. 353. Fig. 354.

la veduta di fronte e la sezione perpendicolare di un tubo metallico, a parete sottile. Per ottenere però un suono distinto conviene che siavi un certo rapporto fra le dimensioni delle labbra, l'apertura della bocca e la grandezza della luce, e che il tubo abbia una grande lunghezza in confronto alla larghezza. In generale, il numero delle vibrazioni dipende dalle dimensioni del tubo e dalla velocità della corrente d'aria.

I principali strumenti a bocca sono il flauto, la zampogna, il piffero, e lo zuffolo. Nel flauto l'imboccatura consiste in una semplice apertura laterale e circolare; e la corrente d'aria viene a infrangersi contro i lembi di questa, per la disposizione che si dà alle labbra. Lo stesso accade nella zampogna.

392. **Strumenti a linguetta.** Questi strumenti hanno quattro parti distinte: 1.° un tubo MN (fig. 355) rettangolare di legno, applicato inferiormente alla cassa di un mantice, come si vede in Q; 2.° un altro tubo molto più corto, che serve al primo, quasi di turacciolo; alla parte superiore ha un orifizio *o*, all'inferiore è chiuso, e lateralmente ha una apertura longitudinale, che si chiama il *canaletto*, il quale serve a dar passaggio all'aria, dal primo al secondo tubo; 3.° una lamina elastica *l*, chiamata *linguetta*, che, fissata alla parte superiore del canaletto, in istato di riposo, ne rade i lembi e quasi lo chiude; e 4.° un filo di ferro *r*, che chiamasi la *molla*, il cui capo inferiore ricurvo *cc* preme più o meno la linguetta, a seconda che viene abbassata più o meno. La molla serve ad accordare perfettamente i tubi a linguetta. A comprendere il modo d'agire di questi strumenti, si supponga messo in movimento il mantice, al dissopra del quale è collocato il tubo: è chiaro che quando una corrente d'aria giunge in questo, la linguetta si trova compressa, di modo che s'incurva dall'esterno all'interno, e lascia libero il passaggio all'aria, la quale sfugge per l'orifizio. Ma la linguetta, ritornando indietro per effetto della sua elasticità, compie una serie di oscillazioni, le quali fanno sì che il canaletto

Fig. 355.

si trovi successivamente aperto e chiuso, e che la corrente d'aria alternativamente passi e si fermi, di modo che risultano delle vibrazioni che producono un suono, la cui altezza cresce colla velocità della corrente. Questi strumenti si dicono a linguetta libera; ma in altri, detti a linguetta battente, questa è più larga del canaletto (fig. 356), ed urtando contro i labbri di esso, non può oscillare che da una parte sola.

I principali strumenti a linguetta sono il clarinetto, l'oboè, il fagotto, il corno, la trombetta, il chiarino, il trombone, e l'oficleide. L'organo è il più vasto degli strumenti a vento, o meglio è la riunione di una moltitudine di siffatti strumenti.

b
z
r l
t
Fig. 356.

393. **Leggi delle vibrazioni dell'aria nei tubi sonori.** Le vibrazioni dell'aria in un tubo sono longitudinali, cioè avvengono secondo la direzione della lunghezza del tubo, e la colonna d'aria è divisa in parti eguali da nodi e da ventri. I nodi e le superficie di separazione delle parti vibranti sono immobili, e soffrono solo cambiamenti di densità; mentre nei ventri l'aria ha una densità costante, ed è animata continuamente da un movimento oscillatorio.

Per determinare la posizione dei nodi e dei ventri, i fisici seguono diversi metodi. Alcuni introducono in un tubo sonoro di vetro uno stantuffo, munito di una lunga asta, e ve lo fanno scorrere lentamente per tutta la lunghezza, segnando la posizione della superficie inferiore dello stantuffo in ogni caso in cui il tubo produce il suono primitivo. Le superficie nodali corrispondono ai punti segnati; ed i ventri ai punti medj delle parti determinate dai primi. Altri fisici adoperano un tubo, nel quale sono praticati, per tutta la lunghezza, diversi fori, che si possono aprire o chiudere a volontà dell'esperimentatore: quando l'aria del tubo è posta in vibrazione, aprono uno di questi fori, mantenendo chiusi gli altri, poi chiudono il primo, e ne aprono un secondo, e così vanno successivamente variando il foro aperto, segnando ogni foro, la cui apertura produce una modificazione nel suono del tubo. Sono queste le posizioni primitive dei nodi; giacchè quando si apre un foro in corrispondenza ai ventri, nei quali la densità dell'aria è costantemente eguale a quella dell'atmosfera, il suono non è modificato; ma invece quando si apre un foro in corrispondenza dei nodi, l'aria, che ivi aveva una densità diversa da quella dell'atmosfera, si mette all'equilibrio con questa, in modo che si forma un

ventre laddove si trovava un nodo, ed il suono è completamente cangiato.

Savart segue un altro metodo. Egli incolla una membrana di minugia sopra un anello di cartone, sostenuto da tre fili; copre la membrana di uno strato sottile di sabbia, e cala lentamente il tutto nel tubo, al momento in cui l'aria di esso è posta in vibrazione. I granelli di sabbia rimangono in riposo ad intervalli eguali, nei nodi; e sono invece agitati più o meno rapidamente nelle posizioni intermedie, nei ventri.

Attualmente si fa una curiosa esperienza per constatare la posizione dei nodi e dei ventri. Ad una parete del tubo rettangolare AB che deve produrre il suono, si applica una cassa (fig. 357), alla quale si fa arrivare una corrente di gas d'illuminazione, per mezzo del tubo T. Da questa cassa partono tre tubi x, y, S, che conducono il gas ad altrettanti piccoli compartimenti praticati in una parete vicina. Ognuno di questi compartimenti è una cavità cilindrica, chiusa alla parte interna del tubo da una membrana di minugia, ed alla parte esterna da un disco di legno, attraversato da due tubi, come si può vedere in z, per uno dei quali o il gas vi arriva, e per l'altro r effluisce all'esterno, dove viene acceso. Se il tubo produce un suono, a cui, secondo le leggi che più innanzi esporremo, corrisponda un nodo in N, ossia uno strato che subisca continue variazioni di pressione e di densità, la fiammella y si estingue, perchè le pulsazioni della membrana di minugia interrompono la corrente del gas, e le fiammelle x ed S continuano ad ardere. Invece se aumentasi la forza della corrente d'aria, in modo che al suono prodotto corrisponda un nodo in M ed un altro in P, e quindi un ventre in N, la fiammella y non dà il menomo indizio di agitazione, e le due estreme si spegnono.

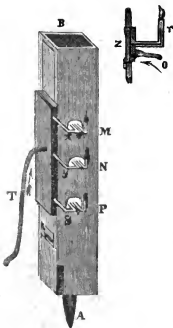



Fig. 357.

La posizione ed il numero dei nodi varia a seconda che il tubo sonoro è aperto ad una sola, ovvero ad ambedue le estremità.

Tubi chiusi. Quando il tubo è chiuso, ossia aperto solo alla estremità, da cui s'introduce la corrente, si verificano le seguenti leggi:

1.° Se formasi un nodo solo, il tubo dà il suono fondamentale, e la lunghezza dell'onda è eguale al doppio di quella del tubo; giacchè in tal caso il nodo si trova al fondo del tubo, e il ventre, ossia il mezzo dell'onda all'imboccatura, e quindi la lunghezza dell'onda è doppia di quella del tubo.

2.° Di mano in mano che si rinforza la corrente d'aria, l'altezza dei suoni prodotti dal tubo aumenta. Se con 1 si rappresenta il suono più grave o il fondamentale, il tubo dà successivamente i suoni 1, 3, 5, 7, 9... rappresentati dalla serie dei numeri dispari. Infatti quando si producono due nodi, uno è al fondo del tubo e l'altro ad un terzo della lunghezza partendo dall'estremità aperta; e quindi la distanza dei due nodi, cioè la lunghezza dell'onda è due terzi della lunghezza del tubo, ossia un terzo della lunghezza dell'onda prodotta dal suono fondamentale; e per conseguenza il numero delle vibrazioni o l'acutezza del suono, che è in ragione inversa della lunghezza dell'onda, sarà triplo di quello del suono fondamentale, ossia se quello è rappresentato da 1, questo lo sarà da 3.

3.° La lunghezza però dell'onda, secondo osserva lo Zantedeschi, è sempre minore che in uno spazio indefinito, e varia pure al variare della lunghezza della canna, rimanendo costante il diametro.

4.° Finalmente il numero delle vibrazioni, secondo le osservazioni del suddetto fisico, non segue precisamente la ragione inversa della lunghezza dei tubi: non rimane costante a costante lunghezza e larghezza, variando la profondità della bocca e la convergenza delle pareti; cresce diminuendo l'altezza della bocca e viceversa: il tono fondamentale varia secondo che si cangia la posizione della bocca, e si eleva dando al tubo più bocche; e da ultimo la direzione del velo d'aria sul labbro superiore della bocca concorre alla provocazione del tono e de' suoi gradi.

Tubi aperti. Le leggi delle vibrazioni dell'aria nei tubi aperti ad ambedue i capi differiscono dalle già esposte nei due punti seguenti: 1.° Il suono fondamentale di un tubo, aperto ai due capi, è sempre l'ottava acuta del suono che sarebbe prodotto dallo stesso tubo, quando fosse aperto ad un solo estremo; perchè essendovi un sol nodo, questo è al mezzo del tubo, i ventri sono sempre all'estremità, e ciascuna metà contiene una semionda sonora, sicchè la lunghezza dell'onda è eguale alla lunghezza del tubo, epperò il numero delle vibrazioni doppio del suono fondamentale

dello stesso tubo chiuso. — 2.° I suoni prodotti da uno stesso tubo sono successivamente rappresentati dalla serie dei numeri naturali 1, 2, 3, 4..., giacchè, quando vi sono due nodi, si trovano ad un quarto partendo da ciascuna estremità, e quindi si hanno due onde vibranti, ossia ciascun'onda è eguale alla metà della precedente, e quindi il numero delle vibrazioni è doppio. Se vi sono tre nodi, essi si trovano al termine di 1, 3 e 5 sesti, e in ogni caso havvi un ventre all'imboccatura, ed un altro all'estremità opposta.

394. **Variazioni di tono col variare delle aperture dei fori praticati nelle pareti degli strumenti a fiato.** Abbiamo già accennato come l'apertura di un foro nella parete di un tubo sonoro, dirimpetto ad un nodo, fa cangiare il suono, trasformando il nodo in ventre, e mutando così la lunghezza della colonna d'aria vibrante. Da questo principio si deducono alcune conseguenze, che hanno ricevuta una applicazione negli strumenti a fiato; come nel flauto e nel clarinetto. 1.° Havvi innalzamento di tono sopra il fondamentale con qualsivoglia apertura di fori, perchè non potendosi qui aprire un foro in corrispondenza ad un ventre (che sono all'estremità), il foro apertovi produce sempre una modificazione; 2.° l'innalzamento però del tono fondamentale è massimo coll'apertura del foro collocato alla metà della canna, e si abbassa con regolarità, procedendo successivamente verso i due estremi nell'aprire le aperture dei fori. 3.° Le aperture che si praticano sulle pareti della bocca danno gli stessi innalzamenti che quelli ottenuti per le aperture corrispondenti praticate sopra una delle pareti laterali alla bocca. 4.° La simultanea apertura di due fori collaterali dà un innalzamento di tono maggiore, che con ciascuno dei medesimi. 5.° Il massimo innalzamento, colla simultanea apertura dei due fori collaterali, si ha alla metà della canna, ed il minimo alle due estremità. 6.° Coll'ottava acuta sopra la fondamentale, il minimo innalzamento si ha alla metà della canna; ed i massimi innalzamenti si manifestano verso gli estremi.

ARTICOLO SECONDO

STRUMENTI A CORDA.

395. **Strumenti a corda**. Tutti gli strumenti a corda sono *composti,* ossia il suono in questi strumenti è rinforzato da lamine elastiche, da masse d'aria, ecc., alle quali le corde comunicano il loro movimento vibratorio. Qualora le corde fossero isolate, il loro suono sarebbe troppo debole, perchè esse percuotono l'aria con una superficie ristrettissima.

I principali strumenti a corda sono il violone, l'arpa, la ghitarra, ed il pianoforte.

Vibrazioni delle corde. Le corde possono vibrare in due maniere; trasversalmente e longitudinalmente; cioè in senso parallelo o perpendicolare alla loro lunghezza. Si eccitano le vibrazioni trasversali sfregando le corde con un archetto oppure pizzicandole in senso perpendicolare alla loro lunghezza; e si eccitano le altre sfregando invece le corde nella direzione della loro lunghezza, con un pezzo di stoffa cospersa di colofonia in polvere.

396. **Leggi delle vibrazioni trasversali delle corde.** La rapidità del movimento vibratorio di una corda dipende dalla lunghezza, dal peso e dalla tensione di essa. La ricerca delle relazioni che esistono fra queste quattro quantità fu soggetto di grandi questioni. Il primo che se ne occupò fu Taylor; e Lagrange diede una soluzione completa del problema.

Le leggi sulle vibrazioni delle corde sono espresse dalla formola $n = \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{P}{\pi d}}$, che porta il nome di formola di Taylor; nella quale n rappresenta il numero delle vibrazioni trasversali della corda in un minuto secondo, r il raggio della sezione di essa, l la lunghezza, P il peso che la tende, e d la densità. Da questa formola appare che: 1.° il numero delle vibrazioni è in ragione inversa della lunghezza della corda; 2.° è in ragione inversa del diametro di essa; 3.° è proporzionale alla radice quadrata della tensione; e 4.° è in ragione inversa della radice quadrata della densità.

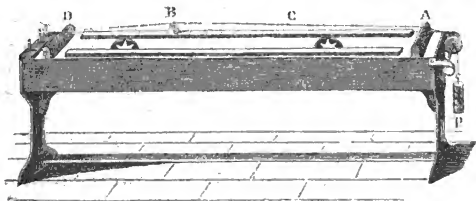



Fig. 358.

Tutte queste leggi possono essere verificate esperimentalmente col sonometro o monocordo. Questo apparato consiste in una corda, fissa ad un capo, e tesa, al dissopra di una cassa rinforzante, da un peso P (fig. 358) unito all' altra estremità. I

limiti della parte vibrante sono determinati da due cavalletti fissi A e D, ed anche da un cavalletto B mobile. Si fa vibrare la corda mediante un archetto, e da un esperimento ad un altro se ne cambia la lunghezza e la tensione, spostando il cavalletto, e aumentando o diminuendo il peso. Per verificare col sonometro la prima legge, si tende la corda in modo che facendola vibrare tutta intera dia il *do* di una gamma. In seguito la si fa vibrare successivamente per le lunghezze $\frac{8}{9}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{8}{15}$ e $\frac{1}{2}$, e si ottengono le successive note della gamma stessa, ossia suoni corrispondenti a numeri di vibrazioni che stanno fra loro come $\frac{9}{8}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{3}$, $\frac{15}{8}$, 2.

Per verificare la seconda legge, si applica al sonometro una seconda corda, avente un diametro doppio di quello della prima, e la si tende con un peso eguale. Se si fanno vibrare le due corde, a lunghezze eguali, il suono prodotto dalla prima è l'ottava acuta di quello della seconda. Con due corde che variano solo o nella densità o nella tensione, si possono, allo stesso modo, verificare le altre due leggi.

397. **Risonanza multipla delle corde**. È un fatto conosciuto anche dagli antichi che i suoni gravi sono spesse volte accompagnati da suoni più acuti. Questo fenomeno, conosciuto sotto il nome di risonanza multipla, si manifesta nel modo il più sensibile nelle vibrazioni delle corde. Quando una corda, un po' lunga, vibra in tutta la sua estensione, e con abbastanza di energia, un udito esercitato distingue chiaramente, oltre al suono fondamentale, i suoni armonici 2, 3, 4, 5, ecc., del suono principale. Per spiegare una siffatta particolarità si ammette che la corda, mentre vibra nel suo insieme, si suddivide in parti eguali, che vibrano nello stesso tempo, dando luogo a suoni più acuti, che dipendono dalla loro lunghezza. La corda, per esempio, produce il primo armonico, quando si divide in due parti eguali, ciascuna delle quali compie due vibrazioni nel tempo che l'insieme ne fa una sola.

398. **Leggi delle vibrazioni longitudinali delle corde**. Il numero delle vibrazioni longitudinali di una corda è indipendente dalla grossezza e dalla tensione, ed i suoni armonici ch'essa può produrre sono quelli stessi che corrispondono ad un tubo di egual lunghezza chiuso alle due estremità. Se rappresentasi con n' il numero delle vibrazioni longitudinali corrispondenti al suono fondamentale, con C il coefficiente di elasticità della sostanza della corda, con P il peso che la tende, e

con n il numero delle vibrazioni trasversali, si ha la relazione espressa dalla formola $n' = n \sqrt{\frac{C}{P}}$. Da questa formola appare che il suono delle vibrazioni longitudinali è molto più acuto di quello delle vibrazioni trasversali.

ARTICOLO TERZO

STRUMENTI A VERGA.

399. **Strumenti a verga.** I principali strumenti a verga sono: il salterio, l'armonica di s. Domingo, il violone di ferro, la scatola a musica, lo strumento di Marloye, il triangolo, il corista, gli anelli, ecc. In questi apparati le verghe sono rette o curve, libere ad una o ad ambedue le estremità, ecc. Dopo di aver esposte le leggi generali sulle vibrazioni delle verghe, esamineremo questi diversi casi particolari.

400. **Leggi delle vibrazioni trasversali delle verghe.** Eulero fu il primo che diede la soluzione del problema sulle vibrazioni delle verghe. La formola $N = \frac{c^2 e}{l^2} \sqrt{\frac{gr}{d}}$ esprime le leggi di questo fenomeno. N rappresenta il numero delle vibrazioni in un secondo, e lo spessore della verga, computato nel senso del movimento, l la lunghezza di essa, d la densità, r la rigidezza, e c una quantità costante, che dipende dal modo secondo cui la verga è sostenuta, e dal numero dei nodi che si formano.

Da questa formola appare che 1.° i numeri delle vibrazioni sono indipendenti dalla larghezza della verga; 2.° sono proporzionali allo spessore di essa; 3.° sono in ragione inversa del quadrato della lunghezza; 4.° sono in ragione inversa della radice quadrata della densità.

Savart deduce da queste leggi la conseguenza che i numeri delle vibrazioni di due verghe della medesima sostanza, ed aventi forme simili, sono in ragione inversa delle dimensioni omologhe. Di fatto, chiamando N ed N′ i numeri delle vibrazioni, compite da queste verghe in tempi eguali, l, l' le loro lunghezze, ed e, e' i loro spessori, si ha $N : N' = \frac{e}{l^2} : \frac{e'}{l'^2}$. Ma siccome le verghe hanno la stessa densità e sono simili, così gli spessori sono proporzionali alle lunghezze, ossia $e : e' = l : l'$. Quindi $N : N' = \frac{1}{l} : \frac{1}{l'}$. Le leggi esposte furono verificate sperimentalmente da Bernouilli e Riccati.

401. Diversi modi di sostenere le verghe rettilinee nell'atto della loro vibrazione.

1.° *La verga può essere libera alle due estremità.* In questo caso vi sono per lo meno due nodi, che dividono la verga in tre parti eguali, le due estreme delle quali sono minori della metà della media. I nodi possono crescere dal 2 al 3, 4, 5... Ma havvi sempre un rapporto costante fra lo spazio compreso da due nodi e quello che separa l'estremità della verga dal nodo vicino. Lissajous ha stabilite a questo proposito le formole $D = \frac{2l}{2n-1}$, $S = \frac{5l}{2(2n-1)}$, $s = \frac{0{,}6608 . l}{2n-1}$; nelle quali D è la distanza di due nodi consecutivi, s la distanza di una estremità dal nodo vicino, S è la distanza di una estremità dal secondo nodo, l la lunghezza della verga, ed n il numero dei nodi. Da queste formole si deduce che 1.° i nodi intermedj sono equidistanti; 2.° la distanza fra il primo ed il secondo nodo è circa 0,92 della distanza fra i due nodi intermedj seguenti; 3.° la distanza del primo nodo dalla estremità è 0,26432 della distanza del secondo nodo dalla medesima estremità, e 0,3304 della distanza di due nodi intermedj.

2.° *La verga può essere fissa alle due estremità.* In questo caso i nodi intermedj occupano quel posto che avrebbero in una verga della stessa lunghezza, libera alle due estremità; ed i nodi estremi sono spostati fino alle estremità della verga. Quindi le due prime formole di Lissajous si applicano anche a questo caso; la terza no, perchè è $s = o$.

3.° *La verga può essere fissa ad una estremità e libera all'altra.* In questo caso vi possono essere 0, 1, 2, 3... nodi; la disposizione dei nodi intermedj è eguale a quella che si verifica nei due primi casi; ma il primo nodo dalla parte della estremità fissa si confonde con questa estremità. Quindi la prima formola può essere ancora applicata in tutta la sua estensione; ma le altre due non possono aver luogo che per l'estremità libera, giacchè all'altra estremità si ha $s = o$, ed $S = D$.

4.° *La verga può essere appoggiata ad un estremo, e libera o fissa all'altro.* In questo caso si può supporre che l'estremità appoggiata coincida con uno dei nodi intermedj, e considerare la verga come la metà di una verga doppia, libera o fissa alle due estremità. Secondo questa ipotesi il numero dei nodi sarà $2n - 1$; e quindi se nelle tre formole di Lissajous ad l e ad n si sostituiscono $2l$, e $2n - 1$, si ottengono le formole: $D = \frac{4l}{4n-3}$, $S = \frac{5l}{4n-3}$; $s = \frac{1{,}3216 . l}{4n-3}$.

5.° *La verga può essere appoggiata ad ambedue le estremità.* In questo caso si può supporre che le estremità sieno due nodi intermedj: tutti i nodi sono equidistanti; e quindi si ha la formola $D = \frac{l}{n-1}$.

Suoni prodotti dalle verghe nelle diverse circostanze accennate. Nei primi tre casi si hanno i medesimi suoni per un medesimo numero di nodi. I numeri delle vibrazioni corrispondenti a questi suoni stanno fra loro come i quadrati dei numeri dispari 3, 5, 7... $2n-1$, quando vi sono 2, 3, 4... n nodi. Nel quarto caso i numeri delle vibrazioni stanno fra loro come i quadrati dei numeri 5, 9, 13, 17...., $4n-3$. E finalmente nell'ultimo caso i numeri delle vibrazioni stanno fra loro come i quadrati dei numeri 1, 2, 3... $n-1$, quando i numeri dei nodi sono 2, 3, 4... n.

La formola $N = \frac{l^2}{D^2}$ poi esprime il numero delle vibrazioni corrispondenti al suono prodotto in qualsivoglia dei cinque casi accennati.

402. **Verghe curve**. Le verghe curve producono un suono che dipende dalla loro curvatura. Per esempio, le verghe piegate, come il corista, in forma di forchetta vibrano quasi allo stesso modo delle verghe rettilinee libere alle due estremità: essi hanno almeno due nodi a, b (fig. 359); ma questi nodi tanto più si avvicinano quanto più pronunciata è la curvatura della verga.

Fig. 359.

403. **Leggi delle vibrazioni longitudinali delle verghe**. Le verghe rigide possono vibrare longitudinalmente per compressione o per dilatazione, come le colonne d'aria. Questo fenomeno ha luogo quando, tenendo la verga nel mezzo, la si sfrega secondo la direzione della lunghezza con una stoffa bagnata, oppure cospersa di colofonia in polvere. Le leggi di questo modo di vibrare delle verghe, identiche a quelle che abbiamo esposte per le colonne d'aria, sono le seguenti: 1.° I numeri delle vibrazioni sono in ragione inversa della lunghezza, per le verghe della medesima sostanza. 2.° La forma e la grandezza della sezione della verga non hanno influenza alcuna sull'altezza del suono, purchè la lunghezza sia molto grande in ordine alle altre dimensioni. 3.° Una verga libera alle due estremità produce i suoni armonici dei tubi aperti; la stessa verga fissa ad

una estremità produce i suoni armonici dei tubi aperti ad un estremo; e fissa ad ambedue le estremità dona i suoni armonici dei tubi chiusi ad ambedue gli estremi. I nodi hanno la medesima posizione che occupano nei tubi sonori. L'altezza di questi suoni è in ragion diretta della velocità e della pressione, colla quale si effettua lo sfregamento. Le estremità libere di una verga, che vibra nel senso longitudinale, allo stesso modo degli strati d'aria alla estremità aperta di un tubo sonoro, compiono sensibili escursioni nel medesimo senso; giacchè tuffando nell'acqua o nel mercurio una di queste estremità, il liquido viene lanciato ad una distanza apprezzabile.

ARTICOLO QUARTO

STRUMENTI A PIASTRA ED A MEMBRANA.

404. **Strumenti a piastra ed a membrana.** Fra gli strumenti a piastra dobbiamo accennare le campane, l'armonica di Franklin, il tamtam dei Chinesi, le cemmanelle, ecc. I principali strumenti a membrana sono il tamburo ed il timballo. Esamineremo prima il fenomeno delle vibrazioni delle piastre, ed in seguito studieremo le vibrazioni delle membrane.

405. **Vibrazioni delle piastre.** Per far vibrare una piastra, la si ferma per qualche punto della sua superficie in una morsa (fig. 360), e poi se ne sfrega il labbro con un archetto. Con questo processo innanzi tutto si possono verificare due risultati generali.

Fig. 360.

1.° Qualunque sia la sostanza della piastra (legno, terra cotta, vetro, metallo, ecc.), e qualunque sia la sua forma (quadrata, triangolare, circolare, ellittica, ecc.), si possono sempre ottenere suoni molto varii, passando dal grave all'acuto, per gradazioni più o meno regolari.

2.° Ad ogni suono corrisponde nella piastra un modo di divisione caratteristico, una disposizione particolare, e sempre simmetrica, delle linee nodali. Quindi una medesima piastra può offrire una infinità di figure acustiche, passando dalle une alle altre in modo continuo. Questo passaggio può farsi in diverse

maniere; epperò un medesimo suono può corrispondere a diversi sistemi di linee nodali. Ma vuolsi osservare che solo certe figure possono essere conservate e danno suoni distinti: le altre non sono che figure di passaggio, e non hanno una durata maggiore dei suoni che le accompagnano; sicchè può dirsi che una medesima piastra non può realmente produrre che certi suoni determinati, ai quali pertanto corrispondono figure determinate. In ogni caso l'estensione delle parti vibranti diminuisce, e quindi il numero delle linee nodali aumenta col crescere dell' altezza del suono. Per dimostrare quanto abbiamo esposto si copre la piastra di uno strato sottile di sabbia secca e fina: al primo suono che si produce, la sabbia entra in movimento, e costantemente rigettata dalle parti vibranti, va ad accumularsi sulle parti immobili, e marca così la traccia delle linee nodali. Savart immaginò un mezzo molto ingegnoso per rilevare in un modo perfettamente corretto queste figure, che il più delle volte sarebbe impossibile di copiare colla matita, tanto esse sono complesse e bizzarre. Per questo, invece della sabbia impiega dei grani di tornesole, polverizzati con della gomma, poi ridotti in pasta, disseccati, polverizzati di nuovo e passati allo staccio, onde avere dei granelli eguali e d'una grossezza conveniente. Allorquando questa polvere colorata ed igrometrica ha tracciato su d'una piastra le linee nodali corrispondenti al suono conosciuto, basta applicare sulla piastra un foglio di carta leggermente inumidito con acqua gommata, ed esercitarvi in seguito una pressione sufficiente per imprimere sulla carta la figura formata dalla piastra. A questo modo Savart potè nel medesimo tempo notare più centinaja di suoni prodotti da una medesima piastra, e raccogliere, per confrontarle tra loro, le figure corrispondenti a questi suoni.

3.° Per piastre della stessa natura, dell'istessa forma, e che producono le stesse figure, i numeri delle vibrazioni sono in ragione diretta delle grossezze delle piastre, e in ragione inversa de' quadrati delle dimensioni omologhe.

4.° La disposizione e il numero delle linee nodali dipende anche dalla forma delle piastre.

Piastre quadrate. Savart, confrontando molte figure acustiche ottenute nelle sue esperienze, ha potuto distinguere le figure corrispondenti al quadrato in figure *elementari* o semplici, ed in figure *composte*. Qui (fig. 361) rappresentiamo alcune delle figure acustiche corrispondenti ad una piastra quadrata, le quali non sono nè delle più semplici nè delle più complicate. Le figure elementari sono formate o da linee parallele ai lati, nello stesso

numero secondo ambedue i versi, oppure da linee parallele alle diagonali, in numero eguale od ineguale nei due sensi. La direzione delle linee nelle figure semplici è quella della maggiore e della minor resistenza alla flessione. Le figure composte sono combinazioni delle figure semplici. A proposito di questa combinazione Savart fa osservare: 1.° quando una delle figure semplici contiene una o due diagonali, anche la figura composta le mostra. 2.° Allorchè una delle figure semplici contiene due linee perpendicolari al mezzo dei lati del quadrato, anche la figura composta le possiede, se l'altra figura semplice ha due o nessuna diagonale. 3.° Quando il numero delle linee in un senso è doppio del numero delle linee nell'altro senso, la figura si compone di quadrati, aventi i lati paralleli alle diagonali, in ciascuno dei quali havvi un cerchio, che proviene dalla figura componente, formata dalle parallele ai lati. 4.° Se il numero delle linee in un senso è triplo delle linee nell'altro senso, la figura composta è analoga alla precedente, ma i lati dei quadrati sono paralleli a quelli della piastra.

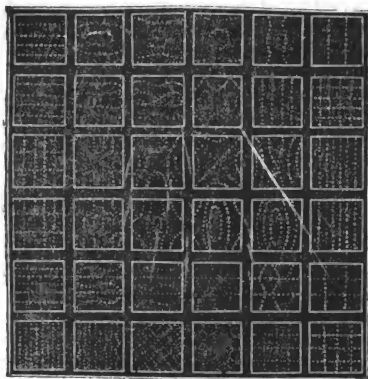



Fig. 361.

Piastre poligonali. Savart riassume nelle seguenti leggi le esperienze fatte colle piastre aventi la forma di un poligono regolare. 1.° Le figure acustiche dei poligoni regolari sono di due ordini: le une sono semplici e le altre composte. 2.° Le figure semplici o generatrici sono formate le une da linee parallele alle direzioni della più grande resistenza alla flessione, e le altre da linee parallele alle direzioni della minor resistenza alla flessione. 3.° Le figure composte si formano della riunione di due figure generatrici, senza addizione di linee nodali straniere: esse si compongono dunque di due sistemi di linee nodali; le une sono parallele alla direzione della maggior resistenza, e le altre alla direzione della minor resistenza alla flessione. 4.° Finalmente, le figure acustiche d'un medesimo poligono possono essere ordinate

in un quadro a due colonne, nel quale ciascuna figura, sì complicata come la si suppone, ha il suo posto determinato, posto che indica la sua composizione.

Piastre circolari. Una piastra circolare può essa pure produrre una moltitudine di suoni, a ciascuno dei quali appartiene una figura determinata; ma l'insieme di queste figure può essere ridotto a due sistemi semplici differenti, l'uno detto *sistema diametrale*, e l'altro *sistema concentrico*, ed al *sistema composto*.

Il sistema diametrale è unicamente composto di diametri che dividono la circonferenza in un numero pari di parti eguali: nella figura la più facile ad aversi si contano due diametri e quattro parti nella circonferenza. Nei cerclj di metallo, che hanno tre o quattro decimetri di diametro, si possono spesse volte numerare 36 o 40 parti nella circonferenza.

Nel sistema concentrico tutte le linee nodali sono circonferenze il centro delle quali è al centro della piastra. Il caso più semplice è quello di una sola linea nodale; in seguito se ne possono ottenere due, tre e più. Per riprodurre queste figure più facilmente, Savart prende, come Chladni, piastre di un grande diametro, al centro delle quali pratica un foro circolare di quattro o cinque millimetri di diametro; ed in questo foro fa passare un fascio di crini, sfregandone i lembi come con un archetto. La piastra deve essere sostenuta solamente per qualche punto, appartenente alle linee nodali che si vogliono produrre.

Nel sistema composto le linee nodali sono diametri più o meno curvi, e circonferenze più o meno alterate. Si richiede un po' d'esercizio per ottenerle: fa d'uopo premere opportunamente co' diti uno o più dei punti, pei quali le linee nodali debbono passare. Quando la piastra ha grandi dimensioni si possono ottenere figure complicate, come quelle che sono qui (fig. 362) rappresentate. In qualche caso la parte centrale ed il contorno si dividono in due modi diversi. Ma la parte centrale produce sempre un suono che è all'unisono, oppure è un armonico del suono prodotto dalle

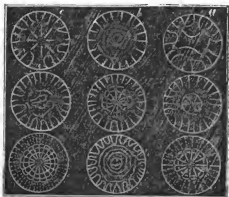



Fig. 362.

parti del contorno. Si possono verificare tre e più modi di divisione; ed allora i numeri delle vibrazioni dei differenti suoni cessano di essere fra loro in rapporto semplice.

406. **Vibrazioni delle campane.** Anche le campane in vibrazione si dividono in parti vibranti, separate da linee nodali dirette secondo i loro meridiani. Al suono più grave, che la campana può produrre, corrispondono quattro parti vibranti; ed ai suoni successivamente più acuti 6, 8... sempre in numero pari. Si mettono in evidenza le linee nodali delle campane, vuoi per mezzo di piccoli pendoli appesi alle pareti supposte verticali, come abbiamo già accennato; e vuoi versando acqua nella campana sonora. In questo caso, al momento in cui si sfrega con un archetto il labbro della campana (fig. 363), vedesi la superficie del liquido solcarsi da una moltitudine di crespe, disposte regolarmente, e l'acqua sbalzata in spruzzi finissimi dalla periferia verso il centro. Quando si ottiene il suono più grave della campana, la superficie del liquido si divide, come si vede nella figura, in quattro sistemi di onde. La circonferenza di una sezione orizzontale della campana, assume la figura di un elisse, che muta periodicamente la posizione dell'asse maggiore in quella dell'asse minore, vale a dire si allunga e si restringe successivamente nel diametro corrispondente all'archetto, mentre fa le stesse oscillazioni, ma in ordine inverso, nel diametro perpendicolare al primo. Le sommità dei quattro ventri si trovano al punto ove viene applicato l'archetto, a quello diametralmente opposto, ed ai due punti medj. Lo stesso fenomeno si compie in tutte le sezioni orizzontali della campana, dalla sommità fino alla base; e così hanno origine le quattro linee nodali che si manifestano in tutta l'altezza. Le campane producono un gran numero di suoni armonici, i quali concorrono mirabilmente ad aumentare la sonorità loro caratteristica. Se ne costruiscono delle grossissime. La più grossa campana conosciuta è quella di Mosca, che pesa 111,700 chilogrammi. Ivi ne esiste un'altra di 260,000 chilogrammi, che venne fusa nel 1736, e fu sospesa in alto nel 1737. Ma essendo di poi stato arso da un incendio l'immenso congegno di travi che la sosteneva, essa cadde, e subbissò, rompendosene

Fig 363.

il labbro, e presentemente giace in una cavità presso il grand'Ivano di Mosca. La campana di s. Pietro in Vaticano pesa 21,500 chilogrammi. — Alle regolari vibrazioni delle grandi campane fa d'uopo che il battaglio sia capace di scuoterle totalmente; altrimenti si dividono a modo bizzarro, le linee nodali si moltiplicano e si contorcono in mille fogge, e non si hanno che suoni acuti e discordanti.

407. **Spostamento delle linee nodali.** È questo un fenomeno osservato per la prima volta da Savart. Se con un archetto si sfregano i lembi di un disco di ottone omogeneo, del diametro di circa 4 decimetri, e dello spessore di 2 o 3 millimetri, fisso pel suo centro ad un sostegno verticale (fig. 364), e coperto in tutta la sua superficie di uno strato sottile di polvere di licopodio, che è più leggera della sabbia, si vede ben tosto che le linee nodali, in numero di 4, 6, ovvero 8, corrispondenti a certi suoni gravi e pieni, non si mantengono fisse, ma provano un singolare movimento d'oscillazione. Quando si continui l'impulso dell'archetto, si giunge ad animare le linee nodali di un movimento continuo di rotazione, in modo che la polvere di licopodio forma allora un turbine rapido che percorre la superficie del disco, a una certa distanza dalla circonferenza, e rimanendo ad essa costantemente parallelo. Questa esperienza è una delle più interessanti che si possa fare colle piastre circolari. Savart spiega questo fenomeno nel modo seguente. Nei dischi, anche i più omogenei, l'elasticità non è punto la medesima in tutti i sensi: vi sono due diametri che corrispondono ai due limiti dell'elasticità, cioè l'uno alla minore elasticità e l'altro alla maggiore. Epperò se si sfrega il disco coll'archetto in un punto tale che le linee nodali si possano collocare su questi diametri, esse saranno immobili; ma se lo si sfrega in un altro punto, le flessioni che l'archetto produce sui lembi del disco sono dissimetriche; le linee nodali, che si formano allora, tendono a ritornare alla loro primiera posizione, e perciò oscillano da una parte e dall'altra di questa posizione; e verranno animate da un movimento continuo di rotazione, quando le escursioni assai grandi del disco diano loro molto d'ampiezza, in modo che possano sorpassare il loro luogo di riposo.

Fig. 364.

408. **Membrane.** Le membrane possono vibrare allorchè sian tese; e vogliono essere scosse con un mezzo particolare. Savart, che fece uno studio particolare di questi fenomeni, fissa le mem-

brane pei loro lembi, incollandole su telai di legno o sull'apertura d'una campana di vetro; le inumidisce più o meno, per dar loro tensioni più o meno grandi; in seguito, per farle vibrare, le colloca ad una certa distanza da una campana vibrante (fig. 365) o da un tubo d' organo di suono pieno e sostenuto. Appena che se ne intende il suono, la membrana vibra come se fosse stata direttamente percossa: i granelli della sabbia che la coprono saltellano sulla superficie di essa, e s'accumulano sui punti di riposo per marcare le linee nodali. Le figure che si ottengono sono estremamente varie, e dipendono dalla tensione della membrana e dall'acutezza del suono che produce.

Fig. 365.

Le ultime ricerche sulle vibrazioni delle membrane quadrate provano che 1.° le membrane, come le corde, non possono rispondere che a certi suoni, separati da intervalli determinati. 2.° Ad un medesimo numero di vibrazioni possono corrispondere diversi modi di divisione. Però tutte le figure acustiche corrispondenti ad un medesimo suono si possono ridurre ad un tipo che ha per carattere il numero delle parallele ai lati del quadrato; di modo che le linee nodali, che corrispondono ad un medesimo suono, formano un sistema di figure tali, che dalle une si può passare alle altre, per deformazioni continue, variando il modo primitivo di scuotimento, senza che il suono abbia a cangiare. Ma 3.° non si può mai passare in modo continuo dalle linee di un suono a quelle di un altro.

Le membrane a contorno circolare, triangolare, ecc. offrono fenomeni analoghi, sebbene più complicati.

409. **Influenza dell'aria sulla forma delle linee nodali.** Faraday aveva già osservato che le linee nodali che si ottengono nel vuoto non hanno esattamente la stessa apparenza di quelle che si ottengono nell'aria, specialmente se si adopera la polvere di licopodio. Savart ha confermato questo risultato con parecchie esperienze decisive, e nello stesso tempo ha assegnata

la vera causa di questa differenza. Egli ha constatato che una piastra qualunque d' una certa larghezza non può vibrare nell' aria, senza che si formino, da una parte e dall' altra delle linee nodali, alcuni piccoli turbini o vortici molto singolari, che trasportano i granelli più leggieri, e li depositano sui ventri ove essi s' incontrano, e dove la loro velocità tende a premere sulla piastra. Per esempio, se si tuffa nell'acqua l' estremità di una lamina larga, che vibra in modo d'avere una linea nodale verticale nel mezzo della sua estensione, e sulla superficie del liquido stesso si getta un po' di polvere di licopodio, da ciascuna parte della lamina si manifestano due piccoli vortici a spirale, nei quali il movimento ha luogo dalla circonferenza al centro. Lo stesso fenomeno si deve ripetere nell' aria; e si comprende che all'incrociamento di questi vortici contrarj vi debbano essere altri punti ed altre linee, ove la polvere leggiera si depositi; benchè in realtà si producano delle vibrazioni sotto questi depositi ingannatori: sono questi punti e queste linee supplementari che scompajono nel vuoto. Questi vortici prodotti nell'aria dalle vibrazioni di un corpo spiegano un fenomeno curioso descritto da Guyot. Se ad una campana di vetro in vibrazione si avvicina un brandello di carta sospeso ad un filo, lo si vede applicarsi sulla campana ed aderirvi.

SEZIONE SECONDA

OTTICA

410. **Oggetto e divisione dell'ottica**. L'ottica studia le proprietà della luce.

Divideremo questa sezione in quattro capi. Nel primo esamineremo l'origine e la propagazione della luce; nel secondo e nel terzo studieremo la decomposizione e la polarizzazione della luce; nell'ultimo ci occuperemo del fenomeno della visione.

411. **Ipotesi sulla natura della luce**. La luce si potrebbe definire — quel principio per cui i corpi dalla potenza passano all'atto di essere visibili. Sulla natura di questo principio i fisici si dividono in due opinioni, cioè seguono due sistemi: il sistema di una *emissione* e quello di una *ondulazione*. Il primo suppone che la luce sia un fluido materiale sottilissimo, le cui molecole ricevano dal corpo luminoso un impulso che le lanci da tutte le parti, come piccoli projettili animati da una velocità prodigiosa. Così quando noi guardiamo il sole le molecole che ci percuotono sarebbero uscite dalla sostanza propria di quest'astro 8′, 13″ prima, ed avrebbero camminato continuamente, in forza della velocità ricevuta, per tutto l'intervallo di 40 milioni di leghe che ci separa. Queste molecole esisterebbero indipendentemente dal movimento che le anima; ma non sarebbero punto sottoposte all'azione della gravità: differirebbero dalla materia pesante; costituirebbero un fluido imponderabile. Si suppone che fra i corpi alcuni si oppongano alla propagazione di queste molecole, e che le medesime dinanzi ad essi si riflettano come i corpi elastici all'incontro di un ostacolo, mentre altri corpi, come il vetro, l'aria, l'acqua, ecc., abbiano fra le loro molecole ponderabili spazj abbastanza grandi, perchè le molecole luminose possano passare liberamente. Tale sistema, ammesso generalmente dagli antichi, era sostenuto da Newton.

Il sistema delle ondulazioni suppone che la luce provenga da un movimento di vibrazione od oscillazione, onde sieno animate le molecole del corpo luminoso, e che si trasmetta successivamente, ma con grande velocità, ad un fluido sottilissimo imponderabile, appellato l'*etere*. Così, in questa ipotesi, la luce è analoga al suono, nel senso che il suono è un movimento vibratorio della materia ponderabile, che si trasmette per mezzo della ma-

teria stessa, e la luce è un movimento vibratorio della materia ponderabile, che si propaga per mezzo della materia imponderabile, cioè dell'etere. Dunque l'etere riempie lo spazio, perchè non havvi punto dello spazio che non sia accessibile alla luce: si trova fra il sole e la terra, fra tutti i corpi del nostro sistema planetario, e nello spazio indefinito che ci separa dalle stelle le più lontane, poichè non havvi neppure un punto di questa immensa estensione che in ogni istante non sia attraversato da un numero prodigioso di raggi luminosi; penetra in tutti i corpi, riempie tutti gli intervalli che lasciano fra loro gli atomi ponderabili. Se l'etere non esistesse in tutto lo spazio, la luce degli astri non arriverebbe fino a noi; se non esistesse nell'acqua, nel vetro, nel diamante e in tutti i corpi diafani, questi corpi non sarebbero attraversati dalle onde luminose. Gli stessi corpi opachi sono riempiti di etere, perchè divengono trasparenti allorchè sono ridotti a strati sottili. Così il sistema delle ondulazioni ci conduce ad ammettere l'esistenza d'una materia, in seno della quale si trovano dispersi, secondo le leggi eterne del sapientissimo Creatore, i diversi frammenti della materia ponderabile che costituiscono i pianeti e gli astri. Generalmente nelle varie scuole di filosofia naturale antiche e moderne si è riconosciuta, almeno come assai probabile, oltre la materia ordinaria sensibilmente pesante, l'esistenza di un'altra sostanza, corporea sì, ma assai più leggiera dell'aria, e la quale, sembrando tener meno della materia, pareva meritarsi il nome di spirito, nome che del resto davasi dai vecchi fisici a tutte le emanazioni sottili. Si è appellata fuoco, materia sottile, o ancora luce, calorico o fluido elettrico, ma principalmente *etere*, voce degli antichi greci, fatta latina da Lucrezio e da Cicerone. Ovidio la descrive:

. . . . . liquidum et gravitate carentem
Aethera nec quidquam terrenæ fæcis habentem.

Cartesio, Grimaldi, Young, Malus, Fresnel, e quasi tutte le scuole moderne ammettono il sistema d'ondulazione.

Quale si adotti fra le due ipotesi. Nel corso del trattato proveremo che il sistema delle ondulazioni spiega tutti i fenomeni luminosi e quello dell'emanazione è in contraddizione con parecchi di essi. Adottiamo adunque, come fondamento di tutta la nostra trattazione, l'ipotesi che lo spazio ed i corpi che vi sono contenuti, sono riempiti dell'etere, il quale non è la luce, come l'aria non è il suono, ed è necessario, ma non sufficiente a produrla. Perchè l'etere divenga luminoso, ha d'uopo di un motore

che lo metta in vibrazione, come l'aria per divenir sonora, richiede un agente che ecciti in essa i tremori armonici. La luce è un movimento che si deve distinguere dalla sostanza eterea medesima, per mezzo di cui questo movimento si propaga.

CAPO PRIMO

ORIGINE E PROPAGAZIONE DELLA LUCE.

ARTICOLO PRIMO

SORGENTI DELLA LUCE.

412. **Sorgenti della luce**. I corpi luminosi per sè stessi, ossia dotati, indipendentemente dagli altri corpi, di un movimento vibratorio particolare, che trasmettono all'etere circostante, chiamansi *sorgenti di luce.* Sono desse *permanenti*, come il sole, le stelle, ecc., od *accidentali*, cioè le decomposizioni e le combinazioni chimiche, la fosforescenza, il calorico e l'elettricità. In altri trattati ci occuperemo delle sorgenti permanenti e dello sviluppo di luce prodotto dal calorico e dalla elettricità. Quanto alle decomposizioni ed alle combinazioni chimiche basti ricordare la moltitudine dei fenomeni chimici già da noi descritti, cui si accompagna uno sviluppo, più o meno notevole di calorico e luce. Le combinazioni e le decomposizioni chimiche sono necessariamente accompagnate da un movimento molecolare, che potrà in molti casi essere identico al movimento calorifico luminoso, e trasmettersi all' etere circostante. Qui pertanto non ci resta da studiare che la fosforescenza.

413. **Fosforescenza**. La fosforescenza è la proprietà, posseduta da alcuni corpi, di emettere una debole luce, senza sviluppo sensibile di calorico. La fosforescenza può essere *spontanea,* oppure *artificiale.*

Fosforescenza spontanea. Alcuni corpi sono naturalmente fosforescenti, per effetto delle lenti azioni chimiche, accompagnate da sviluppo di elettricità, che in loro stessi si compiono. Questi corpi possono appartenere a qualsivoglia dei tre regni della natura. Fra i minerali il fosforo ce ne offre un esempio (310) quando assorbe l'ossigeno, sviluppando una massa gasosa dotata di qualità acide. Anche alcuni legni umidi, che, mentre sono in decomposizione, formano acido carbonico a spese dell' ossigeno dell'aria, diffondono una luce pallida. Certi vegetali, dopo le giornate calde, diffondono un bagliore particolare durante la notte.

Tali sono, per esempio, i fiori di colore giallo, come quelli del nasturzio, del garofano, della rosa d'India, del girasole, ecc. Alla fosforescenza di questi e di altri vegetali è necessaria la presenza dell'ossigeno, e sempre anche la previa esposizione al sole. I pesci del mare divengono fosforescenti dopo la morte, quando sono in un certo stato di decomposizione, che precede la loro putrefazione. In questo fenomeno la presenza dell'ossigeno non sembra necessaria, perchè il Matteucci ha provato che la loro fosforescenza non diminuisce sensibilmente quando sono posti nell'azoto, o nell'idrogeno, o nell'acido carbonico. Il mare, specialmente nelle regioni tropicali, diviene spesse volte fosforescente laddove l'acqua è irregolarmente agitata; ed il fenomeno è attribuito ad una materia organica, mescolata intimamente all'acqua, e che vi sembra diffusa da certi animali piccolissimi. Di fatto Qoy e Gaymard in un viaggio sotto l'equatore, avendo gettati due di questi zoofiti in un litro d'acqua, videro ben tosto il liquido divenir luminoso in tutta la sua massa. Vi sono anche animali fosforescenti che vivono nell'atmosfera, come i lampiri o lucciole, ed i fulgori o porta-lanterne. Matteucci ha fatte molte esperienze sul *lampyris italica;* e dagli ultimi segmenti dell'addomine ha estratta una materia gialla fosforescente, che, come l'insetto vivente, cessa di splendere nell'acido carbonico e nell'idrogeno, e può riacquistare questa proprietà, se viene in seguito introdotta nell'ossigeno.

414. **Fosforescenza artificiale.** L'arte può rendere fosforescenti alcuni corpi; ed il colore della luce da essi diffusa dipende dal loro colore primitivo. I mezzi, che possono servire a questo scopo, sono quattro: 1.° l'elevazione di temperatura; 2.° le scariche elettriche; 3.° le azioni meccaniche; e 4.° l'insolazione.

Il diamante ed altre pietre preziose, le varietà colorate dello spato-fluore, le conchiglie d'ostrica, i solfati di potassa e chinina, la farina di grano turco, ed in generale le sostanze organiche ben disseccate.... riscaldate anche sotto a 100°, acquistano la fosforescenza.

Anche la scarica elettrica produce il medesimo effetto, quando ha luogo sopra alcuni minerali, cattivi conduttori del fluido elettrico. Un corpo che già possegga la fosforescenza può aumentarla assai per effetto della elettricità; ed un altro, che abbia perduta la facoltà di divenir fosforescente nell'elevamento di temperatura, può riacquistarla sotto una serie di scariche elettriche.

Le azioni meccaniche, come lo sfregamento, la percussione, la

sfaldatura, ecc., sono altre sorgenti di fosforescenza. Due pezzi d'ossido di piombo, due cristalli di quarzo, ed in generale le sostanze non conduttrici dell'elettrico, sfregate assieme nella oscurità, divengono luminose. Lo zuccaro manifesta il medesimo fenomeno quando viene spezzato all'oscuro.

Finalmente il quarto mezzo di rendere fosforescente un corpo consiste nel lasciarlo esposto più o meno lungamente all'azione della luce solare o della luce diffusa dall'atmosfera. La maggior parte delle sostanze a base calcare acquista la fosforescenza con questo mezzo: tali sono i carbonati ed i solfati di calce; la calce fluatata, fosfata, arseniata; il nitrato di calce ed il cloruro di calcio disseccati; il cianuro di calcio; le petrificazioni, le conchiglie, le perle. Della stessa proprietà godono molti sali a base di stronziana o di barite, la magnesia ed il suo carbonato, e diverse sostanze organiche, come la farina, lo zuccaro, la gomma, la cera bianca, la resina, la carta secca, la seta, ecc. Ma le sostanze che offrono questa proprietà al più alto grado sono i solfuri di bario, di calcio e di stronzio. Esse, quando sono ben preparate, dopo l'insollazione possono risplendere nell'oscurità per parecchie ore. Il fosforo di Bologna, che, dopo di esser stato esposto al sole, si mantiene luminoso per più di 24 ore, non è altro che un solfuro di bario ottenuto dalla calcinazione di una mescolanza di solfato di barite e di gomma. Anche il fosforo di Canton, che diffonde una luce abbastanza viva per distinguere la posizione della lancetta sul quadrante di un orologio, è un altro solfuro di bario ottenuto dalla calcinazione di una mischianza di solfo e di conchiglie d'ostrica polverizzate. La durata della fosforescenza varia moltissimo da un corpo ad un altro, secondo la qualità della sostanza e la temperatura. Quando la fosforescenza non dura che per un intervallo brevissimo di tempo, non è possibile constatarla, col ritirare i corpi in un luogo oscuro, senza una precauzione ed una rapidità particolare, dopo averli esposti alla luce solare. In questo caso si fa uso di uno strumento detto *fosforoscopio*, immaginato per ciò da Becquerel, e costrutto per la prima volta da Duboscq. Il fosforoscopio è composto di una cassa cilindrica fissa di lamiera annerita, nelle basi della quale sono praticate due aperture, a forma di settore circolare, corrispondenti; e di due diaframmi circolari, essi pure di lamiera annerita, uniti insieme coll'asse della cassa, col quale possono rotare nella cassa stessa, sotto l'impulso che loro viene comunicato per mezzo di una manovella, e di un sistema di ruote dentate. In ciascuno di questi due diaframmi sono praticate quattro aperture,

anch'esse a forma di settore circolare, ma non corrispondenti a quelle dell'altro.

Quando vuolsi osservare una sostanza qualunque col fosforoscopio, la si pone in una staffa frapposta al sistema dei due dischi; indi si porta l'apparato in una camera oscura; l'osservatore si colloca dalla banda delle ruote dentate: all'altro lato si lascia cadere sulla sostanza un fascio di luce solare od elettrica; e poi si mette in movimento, più o meno rapido, il sistema interno. La luce non può mai passare contemporaneamente per le aperture opposte delle basi della cassa, giacchè le aperture dei due dischi non sono corrispondenti. Quindi l'osservatore, che guarda per un'apertura della cassa non potrà vedere l'oggetto sottoposto all'esperienza nel momento in cui esso è illuminato; ma lo vedrà ben tosto, quando viene sottratto alla luce che entra per l'apertura opposta, se esso si mantiene luminoso, almeno per qualche breve istante.

ARTICOLO SECONDO

PROPAGAZIONE RETTILINEA DELLA LUCE.

415. **Corpi diafani — opachi — pellucidi.** L'aria e gli altri corpi attraverso dei quali la luce passa facilmente, e senza subire una notevole modificazione, diconsi *diafani;* quelli si chiamano *opachi* che ne intercettano il passaggio, come il legno, i metalli, ecc.; *pellucidi* sono detti quelli che lasciano passare una parte della luce che ricevono, ma non permettono di distinguere attraverso di essi nè la distanza, nè il colore, nè la forma degli oggetti. Nel linguaggio ordinario si applica il nome di trasparenti tanto ai corpi pellucidi come ai diafani.

Avvertasi però che nessun corpo è assolutamente opaco, come nessuno è assolutamente diafano. Infatti l'opacità dipende dallo spessore, e tutti i corpi ridotti in lamine sottili o in foglie lasciano il passaggio ad una parte della luce che ricevono; così attraverso una foglia d'oro incollata sul vetro si può vedere la fiamma di una candela. Nè il passaggio della luce si può in questo caso attribuire a piccole fessure o forellini che siano nella foglia d'oro, perchè la luce della candela non appare bianca, ma verde. Parimenti i gas, i liquidi e molti corpi cristallizzati sembrano dotati d'una diafaneità perfetta quando sono in piccola massa; perchè in tal caso sono assolutamente incolori, e attraverso loro si scorgono non solo le forme degli oggetti, ma ancora tutte le gradazioni dei loro colori. Tuttavia anche i più diafani fra i corpi manifestano un colore quando hanno uno spessore note-

vole, e diminuiscono la vivezza della luce che passa per essi. Così sebbene una goccia d'acqua sia perfettamente limpida, l'acqua in gran massa è d'un verde-turchiniccio: alla profondità di 300 metri circa sotto la superficie del mare, la luce del giorno è simile a quella che abbiamo dalla luna durante la notte. Anche l'aria, quantunque eminentemente diafana, in grande massa appare di una tinta turchina, e presso la superficie della terra basta che lo strato d'aria, interposto fra una sorgente luminosa e l'osservatore, abbia una spessezza di circa 12 chilometri per indebolire la luce da parte sua di circa un terzo.

416. **Ogni punto luminoso emette luce in tutti i sensi.** Le osservazioni le più famigliari ci persuadono che un corpo luminoso *irradiā* luce in tutti i sensi: la fiamma di una candela, per esempio, è visibile da tutti i punti della sfera di cui essa ne occupa il centro.

417. **La luce si propaga anche nel vuoto, cioè per lo spazio privo di materia ponderabile.** È questo un fatto provato da molte esperienze, eseguite nel vuoto pneumatico. Se non fosse così, non arriverebbe fino a noi la luce del sole, dei pianeti, delle stelle e di altri corpi che sono fuori della nostra atmosfera, giacchè al di là di questa non si può supporre diffusa in modo continuo la materia ponderabile; che anzi la regolarità di movimento nei corpi celesti ci attesta il contrario.

418. **La luce nel vuoto e in un mezzo omogeneo si propaga in linea retta.** Un mezzo si chiama *omogeneo* quando ha la stessa natura chimica e la stessa densità in tutte le sue parti. In un siffatto mezzo, come nel vuoto, la luce si propaga in linea retta. Infatti collocando un corpo opaco tra il nostro occhio ed un corpo luminoso, sulla retta che li congiunge, l'oggetto cessa di esserci visibile. Similmente, se fra il nostro occhio ed una sorgente luminosa interponiamo alcuni diaframmi opachi, in ciascuno dei quali sia praticato un forellino, allora solo vediamo il corpo luminoso quando tutti i forellini sono precisamente sulla linea retta che congiunge il nostro occhio con un punto della sorgente. Si può anche osservare che la luce, allorchè penetra in una camera oscura attraverso una piccola apertura, segna nell'aria una traccia luminosa rettilinea, che diventa visibile perchè vengono rischiarati i leggieri pulviscoli notanti nell'atmosfera.

Raggio — cono e fascio luminoso — e sfera luminosa. La direzione che la luce segue propagandosi si chiama *raggio luminoso.* L'insieme di più raggi che partono da uno stesso punto si chiama *cono luminoso;* l'insieme di più raggi che partono

da punti diversi di una sorgente luminosa dicesi *fascio luminoso*, e l'insieme di tutti i raggi che partono da un punto o da un corpo luminoso si chiama *sfera luminosa*. I raggi che formano un cono od un fascio luminoso sono naturalmente *divergenti;* tuttavia, quando il punto luminoso è assai lontano, si dice che tutti i raggi del fascio sono sensibilmente paralleli.

Raggio visuale — angolo visuale. L'asse del cono luminoso che penetra nel nostro occhio, o la retta che congiunge il vertice di questo cono luminoso col centro della nostra pupilla, chiamasi *raggio visuale*. L'angolo formato dai due raggi visuali condotti alle estremità d'un diametro trasversale di un corpo dicesi *angolo visuale*, *diametro apparente*, o *diametro angolare* di questo corpo. Se, invece delle estremità di un diametro, si considerano due punti isolati, si ha la loro *distanza angolare*.

419. **Ombra — penombra.** Il principio esposto della propagazione della luce in un mezzo omogeneo ci mette in grado di dare una spiegazione completa dei fenomeni dell'ombra e delle immagini formate in una camera oscura dalla luce che vi penetra per un piccolo foro.

L'*ombra* è la parte dello spazio nella quale un corpo opaco impedisce alla luce di penetrare. Quando un corpo opaco è rischiarato da un sol punto luminoso, è facile il determinare la forma dell'ombra che produce. Se infatti si concepisce una linea retta indefinita, che passando pel punto luminoso S (fig. 366), faccia una rivoluzione intorno al corpo opaco M, appoggiando sempre sulla superficie di esso, questa linea descrive una specie di superficie conica, il cui prolungamento al di là del corpo dà la traccia del contorno dell'ombra. Collocando al di là del corpo opaco un diaframma PQ, vi si scorge l'ombra separata dallo spazio illuminato, per mezzo di una linea GH rientrante in sè stessa, che corrisponde ad una sezione di questo contorno.

Fig. 366.

Questo si applica anche al caso in cui la fonte luminosa sia un aggregato o complesso di più punti; ma allora bisogna distinguere l'*ombra* e la *penombra*. L'ombra è ancora la porzione dello spazio che non riceve alcun raggio luminoso, e la penom-

bra è l'insieme di quelle porzioni dello spazio, le quali sono nell'ombra in ordine ad alcuni dei punti luminosi, mentre ricevono la luce da altri. Supponiamo che SL (fig. 367) rappre-

Fig. 367.

senti il corpo luminoso, ed MN il corpo illuminato, e consideriamo per ora i soli due punti S ed L. Immaginando una linea retta indefinita che, passando pel punto S, faccia una rivoluzione intorno al corpo MN, avremo una specie di superficie conica, il cui contorno sul diaframma PQ separerà la parte GC oscura dal rimanente illuminato; ed immaginando ancora una retta indefinita che, passando pel punto L, faccia una rivoluzione attorno al corpo MN, avremo un'altra specie di superficie conica, il cui contorno sul medesimo diaframma PQ separerà la parte DH dal rimanente illuminato: la porzione dello spazio corrispondente a GH, che non riceve luce nè dall'uno, nè dall'altro dei due punti, costituisce l'ombra, e l'insieme delle due porzioni dello spazio che corrispondono ad HC ed a GD, la prima delle quali riceve la luce dal punto L e non dal punto S, e la seconda riceve la luce dal punto S e non dal punto L, costituisce la penombra. Considerando, non due punti soli, ma tutti i punti del corpo luminoso, è chiaro che nella parte centrale dell'ombra vi sarà una porzione che è nell'ombra rispetto a tutti i punti luminosi, e attorno ad essa invece vi sarà una porzione che è nell'ombra per rispetto ad alcuni punti ed è rischiarata da altri: la prima è l'ombra, e la seconda è la penombra. Lo

Fig. 368.

stesso fenomeno ha luogo quando, con una lamina xy (fig. 368),

si intercetti la luce solare, in modo che una porzione di essa venga ricevuta da una tavola *t*. Nella tavola si distinguono tre spazj differenti: il primo, al dissopra di *b*, in piena luce; il secondo, al dissotto di *a*, nell'ombra; ed il terzo, compreso fra *a* e *b*, costituente la *penombra*.

Se le dimensioni della sorgente luminosa sono minori di quelle del corpo opaco, il fascio dell'ombra va allargandosi a misura che si allontana dal corpo luminoso, giacchè il vertice di questo fascio trovasi dal lato della sorgente luminosa. Ma se il corpo opaco è più piccolo della sorgente stessa, come sarebbe, a cagion d'esempio, il globo della terra T (fig. 369) rispetto al sole S, l'ombra va restringendosi, e termina ad una certa distanza dal corpo che la projetta. Un diaframma situato oltre a questa distanza non riceve più traccia dell'ombra del corpo, ma solo della penombra, la quale sempre esiste e si estende all'infinito, quando la sorgente ha dimensioni, perchè in un diaframma collocato al di là del corpo opaco, dalla parte opposta a quella in cui si trova il corpo luminoso, vi saranno sempre dei punti che saranno nell'ombra rispetto ad alcuni punti della sorgente.

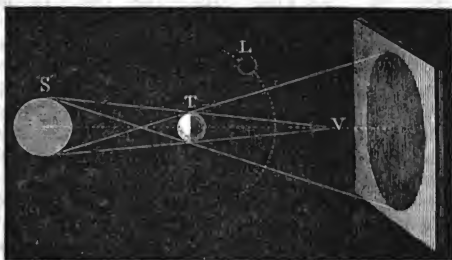



Fig. 369.

Riflesso. La parte della superficie di un corpo opaco, la quale non riceve la luce, mentre le altre sono illuminate, non si trova in una perfetta oscurità, ma è più o meno rischiarata dalla luce rimandata dai corpi vicini. L'effetto di questo riverbero si chiama *riflesso*. Siccome poi la luce riflessa da un corpo colorato partecipa, in generale, del colore proprio di questo, così i riflessi medesimi assumono la tinta degli oggetti circostanti. I pittori nei loro quadri, ed i tappezzieri nella scelta delle tappezzerie approfittano artificiosamente di questi effetti di luce prodotti dai riflessi.

420. **Camera nera**. Quando la luce penetra per un piccolo foro in una camera oscura, e con un diaframma opaco si attraversa il fascio luminoso entrato nella camera, si osserva sopra questo diaframma un'immagine, che varia a seconda delle circostanze che accompagnano il fenomeno, e di cui il principio della propagazione rettilinea della luce dà completa ragione. Consideriamo dapprima il caso più semplice, quello cioè in cui la sorgente luminosa sia un punto solo. Il fascio di luce che da questo punto penetra nella camera è un cono od una piramide indefinita (secondo che il foro è circolare o poligonale), che ha per vertice il punto stesso e di cui l'immagine formata sul diaframma è una sezione. La forma di questa figura dipende dalla forma del foro e dall'inclinazione del diaframma sulla direzione dell'asse del cono o della piramide. Supponiamo che il foro sia circolare: se il diaframma è parallelo alla base del cono, ossia se è perpendicolare all'asse del medesimo, l'immagine luminosa sarà un cerchio; perchè, come sappiamo dalla geometria, tagliando un cono retto con un piano perpendicolare all'asse, la sezione che risulta è simile alla base: ma se il diaframma è obliquo all'asse del cono, l'immagine è un ellisse, come parimenti dimostra la geometria. Dunque diremo che la forma del foro determina il genere della figura, e la direzione dell'asse ne determina la specie.

La posizione della figura luminosa nel caso che consideriamo è diritta rispetto al foro; cioè se il foro alla parte superiore è circoscritto da una linea curva, ed all'inferiore da una retta, anche l'immagine luminosa risulta curvilinea all'alto e rettilinea al basso. La lucidezza della figura è uniforme in tutte le sue parti, e varia in ragione inversa della sua distanza dal foro, perchè quanto più è distante dal foro tanto meno è intensa la luce che il diaframma o la parete riceve. E finalmente l'ampiezza di questa figura è in ragion diretta della sua distanza dal foro, perchè quanto più ci allontaniamo da esso tanto più i raggi divergono, ed abbracciano una superficie maggiore; ossia quanto più la sezione del cono luminoso si allontana dal vertice tanto più aumenta di superficie.

Quando poi la sorgente luminosa non è più un punto solo, ma un complesso di parecchi punti, il fenomeno diviene più complicato. Supponiamo dapprima, per chiarezza, che i punti luminosi sieno cinque: uno sulla linea orizzontale del foro *v* (fig. 370) perpendicolare al diaframma *t*; e gli altri quattro disposti simmetricamente intorno al primo. È chiaro che ognuno di questi punti manderà nella camera oscura un fascio luminoso, che si

propagherà come fosse solo. Il fascio luminoso che parte dal punto centrale formerà sul diaframma una figura luminosa si-

Fig. 370.

mile al foro, posto ad eguale altezza; il fascio luminoso che parte dal punto più alto formerà sul diaframma stesso una figura luminosa più bassa del foro, perchè il foro, più basso di questo punto, non può ricevere che i raggi che piovono dall'alto al basso, i quali procedendo nella stessa direzione, dovranno abbassarsi e quindi non potranno formare che un'immagine più bassa del foro, e dissimile da questo; il fascio che parte dal punto più basso formerà sullo stesso piano una figura luminosa più alta del foro, e di una forma pressochè eguale a quella dell'immagine più bassa; e finalmente i due punti laterali formeranno due immagini laterali sul diaframma, dissimili dal foro, ma l'immagine del punto destro sul diaframma si troverà alla sinistra e viceversa quello del sinistro sarà alla destra. Per conseguenza, quando la sorgente luminosa fosse la fiamma AB (fig. 371) di una candela, penetrerebbe nella camera oscura un cono luminoso composto di un numero indefinito di coni luminosi, provenienti da diversi punti della fiamma, e intersecantisi nel foro, dove il cono complessivo avrebbe il vertice; e sulla parete opposta, o sopra di un diaframma perpendicolare all'asse di questo cono, avremmo la figura luminosa *ab* della fiamma.

Fig. 371.

Esaminando questa figura luminosa, dobbiamo innanzi tutto osservare che in questo caso la sua forma sarà indipendente

dalla forma del foro, ma dipenderà dalla forma del corpo luminoso e dalla direzione dell'asse del cono o della piramide luminosa. Infatti da ogni punto del corpo luminoso entra un fascio luminoso che forma sul diaframma un' immagine dipendente dalla forma del foro; ma ciascuna di queste immagini ha posto diverso sul diaframma; e siccome sono continui i punti da cui partono i vari fasci, così sono continue anche le immagini formate da questi fasci, e quindi dalla riunione delle immagini parziali, dipendenti dalla forma del foro, e collocate in posti diversi sul diaframma, avremo un' immagine totale dipendente dalla forma dell'oggetto luminoso. I diversi fasci luminosi che entrano nella camera oscura partono da indefiniti punti diversamente posti, quindi tengono una direzione diversa nell'entrare nel foro e nel propagarsi nella camera, e quindi depongono, se mi è lecita l' espressione, il punto da cui partono in luogo diverso fra loro, o, più precisamente, si dispongono secondo i punti dai quali sono partiti, ossia danno una figura luminosa dipendente o corrispondente alla forma del corpo luminoso. La direzione però dell'asse del cono o della piramide luminosa influisce anche in questo caso sulla forma della immagine, giacchè la sezione del cono o della piramide è simile alla base, se perpendicolare all'asse del corpo; ma in caso diverso è sempre allungata.

A farci un'idea chiara della genesi di questa figura luminosa, immaginiamo una retta indefinita, che si muova nell'apertura della camera nera, conservandosi sempre tangente al lembo della fiamma, od in generale del corpo luminoso. Questa retta nel suo movimento descriverà le superficie di due piramidi o di due coni opposti, aventi il vertice nel pertugio della camera, e per base uno il corpo luminoso, e l'altro la parte rischiarata del diaframma, cioè l'immagine. Inoltre, se il diaframma è perpendicolare alla retta che congiunge il centro dell'apertura col centro del corpo luminoso, l'immagine è simile a questo corpo; ma se il diaframma è obliquo, l'immagine viene allungata nel senso dell'obliquità.

In secondo luogo l'immagine, nel caso in discorso, è rovesciata rispetto al corpo luminoso; giacchè come abbiamo osservato, le immagini dei punti situati all' alto del corpo luminoso si formano al basso sul diaframma, e viceversa.

In terzo luogo, la lucidezza anche qui dipende dalla distanza del diaframma dal foro, ossia è in ragione inversa di essa; ma non è uniforme, come nel caso in cui la sorgente luminosa è un punto solo; è inegualmente rischiarata nelle sue parti, perchè siccome ad un punto nel corpo luminoso corrisponde una

superficie (di forma dipendente dalla forma del pertugio) nella figura luminosa, che risulta da varie superficie che in varie parti si soprappongono, così i suoi punti sono diversamente rischiarati a seconda che in essi avviene un numero più o men grande di soprapposizioni di parti di queste superficie.

Finalmente la grandezza della immagine nel caso in cui la sorgente luminosa è un corpo, come nel caso in cui è un punto solo, varia in ragione diretta della distanza del diaframma dal foro.

421. **Ombra ed immagine geometrica — ombra ed immagine fisica — diffrazione.** Il contorno dell'ombra prodotta da un corpo opaco, che si trovi sulla linea di propagazione della luce, o quello dell'immagine luminosa, che ha luogo nella camera oscura, in fatto non è rigorosamente determinabile; ossia in generale in questi fenomeni il passaggio dallo spazio illuminato allo spazio oscuro non è istantaneo ma graduato, perchè i raggi, che apparterebbero al confine della parte rischiarata, lambendo il contorno del corpo opaco od i labbri del foro della camera oscura, deviano dalla loro direzione, e quindi diminuiscono la chiarezza del limite dello spazio illuminato: alcuni di essi si allontanano dall'ombra, ed altri vi penetrano, e così mitigano anche gli estremi dello spazio oscuro. L'ombra, o l'immagine luminosa quale si formerebbe, se i raggi luminosi non patissero questa inflessione, si chiama *ombra* od *immagine geometrica;* quella che ha luogo di fatto, modificata nel modo descritto, per effetto di questa medesima inflessione, dicesi *ombra* od *immagine fisica;* ed il fenomeno dell'inflessione stessa ha ricevuto il nome di *diffrazione.*

Il principio che serve a spiegare la diffrazione è quello conosciuto sotto il titolo di *principio d'Ugenio*, cioè che — *quando in un punto qualunque di un mezzo omogeneo si desta un movimento vibratorio, questo si propaga tutto attorno a quel punto in onda sferica, per modo che ciascuna molecola del mezzo scosso diviene un centro secondario di scotimento, da cui parte un'onda sferica simile all'onda primitiva.* — Per conseguenza, allorchè la superficie di un'onda arriva ad un corpo opaco, le onde sferiche generate dalle molecole d'etere vicine all'orlo, penetreranno nell'ombra geometrica, e fino ad un certo termine anche la illumineranno; cioè fino a tanto che quelle onde si mantengono abbastanza unite da avere un'intensità sufficiente a produrre la sensazione della luce. Per la stessa ragione il cono luminoso che penetra nella camera oscura da un forellino, manifesta una divergenza maggiore di quella che corrisponde alla direzione geometrica dei raggi.

Il fenomeno della diffrazione si manifesta qualche volta con circostanze particolari, delle quali ci occuperemo più innanzi.

422. **Spiegazione d'alcuni fenomeni.** I principj esposti sulla formazione dell'ombra e delle immagini luminose ci danno la ragione di qualche fenomeno che spesso avviene d' intorno a noi. Durante il giorno, nell'interno di una camera oscura qualunque, si vede un'immagine capovolta del cielo, delle nubi, dell'orizzonte e di tutti gli oggetti che sono davanti alla piccola apertura (fig. 372), immagine che è più chiara alle parti centrali che alle estreme. All' ombra delle piante i piccoli tratti di terreno illuminati dal sole appariscono tutti sempre rotondeggianti, sebbene i vani tra le foglie sieno variamente poligonali, perchè la forma dell'immagine luminosa è indipendente dal pertugio, ma dipende dalla forma del corpo luminoso, che nel caso considerato è circolare. Tutte queste piccole immagini luminose poi sono ellittiche alla mattina e dopo mezzogiorno, quando cioè l'asse del gran fascio luminoso che parte dal sole è obliquo al terreno; ed invece sono circolari al mezzogiorno, quando cioè quella retta è perpendicolare al terreno stesso, sul quale si formano quelle immagini; perchè, come abbiam detto, la specificazione della forma dell'immagine dipende dalla direzione dell'asse del fascio luminoso. Durante poi un ecclisse parziale di sole quei tratti di luce sono scemi o falcati come la parte visibile dell'astro.

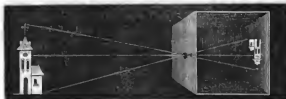



Fig 372.

423. **La luce si propaga con una velocità sì grande che viene dal sole alla terra in 8′, 13″.** L'astronomo Roëmer nel secolo decimosettimo determinò, pel primo, la velocità di propagazione della luce dall'osservazione degli ecclissi di uno dei satelliti di Giove. A comprendere il principio di Roëmer, rappresentiamo con *s* (fig. 373) il sole; con *tabmed* l'orbita della terra; sia *j* la posizione di Giove, che è ad una distanza circa cinque volte più grande che non la terra. La velocità colla quale la terra si muove è molto maggiore della ve-

Fig. 373

locità di Giove. Per conseguenza può avvenire che la terra sia tra il sole e Giove, oppure che il sole sia tra Giove e la terra: nel primo caso la distanza nostra da Giove è minore che non nel secondo caso; e propriamente nel primo caso è eguale a *tj* nel secondo è eguale a *mj*, ossia la differenza delle due distanze è eguale al diametro dell' orbita terrestre. Quando la terra si trova presso *t*, il primo satellite di Giove, che fa la sua rivoluzione attorno al suo pianeta, come la luna intorno alla terra si immerge nell' ombra di Giove stesso, ecclissandosi intieramente ad ogni periodo di 42 ore, 28′, 36″; ma di mano in mano che la terra si allontana da Giove girando intorno al sole, cresce l'intervallo fra due immersioni consecutive; e quando la terra, a capo di sei mesi è passata dalla posizione *t* alla posizione *m*, si osserva nel satellite un ritardo totale di 16′, 26″, comparativamente all'istante in cui dovrebbe divenire nuovamente visibile secondo il numero di immersioni realmente accadute. Alla fine di sei mesi, la 100.ª emersione, a contare dalla prima osservazione, dovrebbe avvenire dopo un lasso di tempo eguale a 100 volte 42 ore, 28′, 36″; ma invece ritarda di 16′, 26″. Questo ritardo dipende da ciò che la luce riflessa dal satellite per giungere fino a noi impiega un tempo che aumenta coll'aumentare della distanza. Quando la terra è in *t*, la luce riflessa dal satellite deve percorrere la distanza *tg;* mentre quando è in *m* deve percorrere la distanza *mg*, che supera la prima, come abbiam detto, della lunghezza del diametro dell'orbita terrestre. Dunque la luce impiega 16′ e 26″ a percorrere questo diametro, e quindi impiegherà 8′, 13″ a passare dal sole alla terra. La medesima strada sarebbe percorsa da un treno di ferrovia in 342 anni e 3 mesi, andando giorno e notte; e da una palla di cannone in qualche cosa meno di 7 anni. Pertanto, siccome la terra dista dal sole di 153,757,840 chilometri, così se la luce a percorrere questo spazio impiega 8′, 13″, ossia 493″, essa percorrerà in ogni minuto secondo 312,000 chilometri circa.

Fizeau potè determinare direttamente la velocità della luce. A questo scopo egli adoperava una rota dentata, girevole sul proprio asse in un piano verticale, e munita di un certo numero di denti, che per chiarezza supporremo 100, rigorosamente eguali tra loro e separati da intervalli di ampiezze eguali alla grossezza dei denti. Normalmente al piano di questa rota dirigeva un fascetto luminoso, in modo che avesse a passare per l' intervallo di due denti; ed al di là della rota, sulla direzione del fascio stesso, alla distanza, per esempio, di 10 chilometri, collocava uno specchio parallelo alla rota, e tale che riflettesse

il fascio luminoso in una direzione poco diversa dalla primitiva, sicchè nel suo ritorno passasse ancora pel medesimo intervallo di denti. È chiaro che, facendo girare la rota, il raggio diretto il quale passa per uno degli intervalli che separano i denti, nella riflessione ritornerà pel medesimo intervallo, se la rotazione non è troppo rapida. Ma accelerando il movimento, mentre il raggio percorre la distanza della rota dallo specchio, e torna indietro fino alla rota, un dente viene ad occupare l'intervallo per cui passò il raggio diretto; onde il raggio riflesso non è più visibile al di qua della rota, venendo dal dente intercettato. In questo caso la luce percorre il doppio spazio tra la rota e lo specchio, nel tempo che un dente della rota passa nel posto dell'intervallo vicino. Questo tempo può determinarsi facilmente, conoscendosi la di velocità rotazione della rota all'istante in cui viene intercettato il raggio riflesso.

Anche Foucault seppe misurare la velocità della luce lungo un cammino di qualche chilometro. La figura 374 rappresenta una sezione orizzontale dell'apparato che serve alla bella esperienza di Foucault. Sul foro quadrato di una camera oscura si tende verticalmente un filo di platino *o;* e si dirige il fascio di luce solare, che entra nella medesima camera, sopra una lente L, a lungo foco, collocata ad una distanza dal filo di platino minore del doppio della distanza focale principale. Per questa disposizione l'immagine del filo di platino si formerebbe sull'asse della lente sotto dimensioni più o meno ampliate. Ma il fascio luminoso, dopo aver attraversata la lente, incontra uno specchio piano *m,* rotante con molta velocità, e, riflettendosi sullo stesso, va a formare nello spazio un'immagine del filo di platino, la quale si sposta con una velocità angolare doppia di quella dello specchio. Imperocchè, se *mn* (fig. 375) rappresenta lo specchio rotante, O un oggetto fisso collocatogli davanti, la cui immagine appare in O', allorchè lo specchio raggiunge la posizione *m'n'*, si vede l'immagine in O''. La velocità dello specchio è misurata dall' arco *mm'*, e la velocità dell'immagine è misurata dall'arco O'O''. Ma $mm' = \frac{O'O''}{2}$; perchè i due angoli *mcm'*, O'OO'' sono eguali, avendo i lati rispettivamente perpendicolari. Dunque, anche nel nostro caso, la velocità dell'immagine del filo di platino, sarà doppia di quella dello specchio *m* (fig. 374). Il fascio luminoso nel suo movimento incontra uno specchio M concavo e fisso, il cui centro di curvatura coincide coll'asse di rotazione dello specchio *m*, e per conseguenza ritorna sopra sè stesso e si riflette di nuovo sullo specchio *m*. Se questo specchio

è fermo, o rota lentamente, il fascio luminoso lo incontra nella stessa posizione in cui era alla prima riflessione, e quindi riprende la medesima direzione, attraversa una seconda volta la lente L, si riflette parzialmente in *a* sul vetro V a facce parallele, passa la lente P, e presenta all'occhio, che qui lo riceve, un'immagine *d* del filo di platino, ad una distanza $ad = ao$. Questa immagine ricompare ad ogni giro dello specchio *m;* rimane immobile nello spazio, se la velocità del medesimo specchio è uniforme; è intermittente, se la stessa velocità non supera i 30 giri per secondo; ma è persistente, nel caso in cui la velocità dello specchio oltrepassa questo limite.

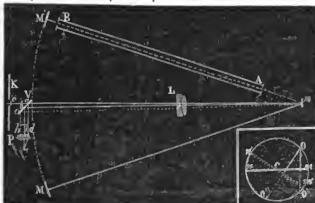



Fig. 374. Fig. 375.

Quando poi lo specchio *m* rota con una rapidità sufficiente a cangiare in modo sensibile la sua posizione nel tempo in cui la luce passa da *m* in M, e da M in *m*, il fascio luminoso, riflesso per la seconda volta dallo specchio *m*, assume la direzione *mb*, e mostra in *i* l'immagine del filo di platino; ossia in questo caso l'immagine devia per una quantità *di*. Una siffatta deviazione è relativa alla velocità dello specchio *m*, e cresce in ragion diretta del tempo che la luce impiega a percorrere il doppio cammino *m*M. Nelle esperienze di Foucault la distanza *m*M era solo di quattro metri, e dando allo specchio una velocità di 600 ad 800 giri per secondo, egli otteneva delle deviazioni di 2 a 3 decimi di millimetro. Foucault, facendo $Mm = L$, $Lm = l$, $oL = r$, e rappresentando con *n* il numero dei giri dello specchio *m* in un minuto secondo, con *d* la deviazione *di*, e con V la velocità della luce, ha stabilita la formola $V = \frac{8\pi L^2 nr}{d(L+l)}$.

I risultati delle esperienze di Fizeau e di Foucault confermano le conclusioni di Roëmer.

Coll'apparato di Foucault si può anche determinare la velocità della luce nei liquidi. A questo scopo, fra lo specchio *m* ed un altro M′, identico allo specchio M, si colloca un tubo AB, lungo tre metri, e pieno del liquido che vuolsi esperimentare. Dalla deviazione dell'immagine si deduce la velocità della luce nel liquido stesso. Con questo processo si è trovato che la deviazione aumenta, e quindi che la velocità diminuisce, quando la luce attraversa l'acqua distillata invece dell' aria. È questo il risultato più importante della esperienza di Foucault; e più innanzi ne dedurremo le interessanti conseguenze che vi sono comprese.

Per imprimere allo specchio una grande velocità, Foucault gli applica una piccola turbina a vapore, la quale ha qualche rapporto colla sirena, e, come essa, produce un suono tanto più acuto quanto più rapida è la rotazione; sicchè l'altezza del suono prodotto dall'apparato ne indica la velocità.

424. **Intensità della luce — sue leggi.** Per intensità della luce s'intende la quantità di luce ricevuta dall'unità di superficie. Essa è soggetta alle seguenti leggi.

1.° *L'intensità della luce varia colla natura delle sorgenti luminose.* L'ordinaria esperienza lo conferma.

2.° *L' intensità della luce è in ragione inversa del quadrato della distanza dalla sorgente luminosa.* La verità di questa legge, pel caso in cui la luce emani da un punto luminoso, può dedursi, come si è fatto pel suono, dal teorema geometrico che le superficie sferiche sono proporzionali ai quadrati dei raggi. Quando, invece di un punto, si considera un corpo luminoso di dimensioni finite, la medesima legge, verificandosi di ciascun punto, si dovrà applicare al loro insieme, se la sorgente luminosa è abbastanza lontana perchè tutti i suoi punti possano aversi per equidistanti dalla superficie rischiarata. Siccome poi il diametro apparente di un corpo varia in ragione inversa della distanza, così, nell'ultimo caso accennato, si può dire anche che l' intensità della luce varia in ragion diretta del quadrato del diametro apparente del corpo luminoso.

3.° *L'intensità della luce ricevuta sopra una sola superficie è proporzionale al coseno dell' angolo formato dai raggi incidenti colla normale a questa superficie.* Infatti si rappresenti con DABC (fig. 376) un fascio di raggi paralleli incidenti sulla superficie AB. Se si intercetta lo stesso fascio luminoso con una su-

Fig. 376.

perficie AC, è chiaro che la luce, prima incidente sopra AB, ora si distribuisce sopra una superficie più estesa; e quindi la quantità di luce ricevuta da ogni unità di superficie decresce in rapporto all'aumento della superficie rischiarata. Indicando con i ed i' le intensità della luce nel primo e nel secondo caso, avremo $i : i' = AC : AB$. Ma in un triangolo qualunque i lati stanno fra loro come i seni degli angoli opposti, ossia $AC : AB =$ Sen. ABC : Sen. ACB; quindi $i : i' =$ Sen. ABC : Sen. ACB. Che se diciamo a l'angolo formato dai raggi incidenti colla normale alla superficie AB, il quale è complemento dell'angolo ACB; e chiamiamo b l'angolo formato dai raggi incidenti colla normale alla superficie AC, complemento dell'angolo ACB, sostituendo ai seni degli angoli ABC ed ACB i coseni dei loro complementi, avremo $i : i' =$ Cos. a : Cos. b.

4.° *L'intensità della luce, che irradia da un corpo luminoso, è proporzionale al coseno dell'angolo dei raggi incidenti colla normale alla superficie del corpo luminoso stesso.* Di fatto rappresentiamo ancora con DABC il fascio incidente, e supponiamo che la superficie del corpo luminoso in un caso sia AB ed in un altro sia AC. L'esperienza prova che l'intensità della luce in queste due ipotesi, pari tutte le altre circostanze, rimane costante. Quindi fa d'uopo che le intensità i ed i' dei raggi emessi dalle superficie AB ed AC sieno in ragione inversa di queste medesime superficie. Si ha dunque: $i : i' = AC : AB$; ossia $i : i' =$ Sen. ABC : Sen. ACB; ovvero, ritenendo le dominazioni precedenti, $i : i'$ $=$ Cos. a : Cos. b.

Verificazione esperimentale delle leggi esposte — fotometri. Le leggi esposte intorno all'intensità della luce si possono verificare esperimentalmente, per mezzo di appositi stromenti, che dal loro officio furon detti *fotometri.*

Fotometro per trasparenza. Bouguer immaginò diversi fotometri, partendo dal principio che l'occhio, sebbene sia incapace di apprezzare la differenza fra le intensità di due sorgenti luminose, pure s'accorge facilmente della minima differenza che può esistere nel grado di illuminazione di due superficie identiche. Uno di questi fotometri, detti *a trasparenza,* consiste in un quadro traslucido di carta o di vetro, disposto verticalmente, e separato in due parti da un diaframma opaco, perpendicolare al piano del quadro. Dalla banda di questo diaframma si dispongono le due sorgenti luminose che si vogliono paragonare, in modo che ciascuna di esse non abbia da rischiarare che la parte del quadro posta dalla sua parte, sotto un angolo eguale a quello

formato dai raggi dell'altra. L'osservatore poi si colloca sul prolungamento del diaframma dal lato opposto.

Per verificare, col fotometro descritto, la legge che l'intensità della luce varia in ragion inversa del quadrato della distanza, basta porre da una parte del diaframma opaco un lume e dall'altra quattro, per esempio, ciascuno dei quali sia eguale al primo. Si trova che, affinchè il tratto di superficie rischiarato dai quattro lumi abbia eguale intensità di quello illuminato dal lume solo, è necessario che questo disti dal diaframma di una lunghezza metà di quella di cui distano i quattro lumi; e quando tutti i lumi sono collocati ad eguali distanze dal diaframma, la luce nella prima parte della superficie illuminata è quattro volte più intensa che nell'altra. Dunque l'intensità della luce varia in ragione inversa del quadrato della distanza.

Se collo stesso fotometro si vuol paragonare il potere illuminante di due sorgenti luminose, si pone l'una da una parte e la seconda dall'altra del diaframma opaco, ad eguale distanza dal vetro smerigliato. È chiaro che il lume posto dalla banda del tratto che riuscirà più luminoso sarà quello dotato di un potere illuminante maggiore. Quando poi importi di conoscere l'eccesso della intensità di una sorgente su quella dell'altra, si allontani la maggiore finchè i due tratti illuminati appajono eguali. Allora si misurano le distanze rispettive, ed i quadrati di queste distanze rappresenteranno i numeri rispettivi dei poteri illuminanti delle due sorgenti.

Fotometro di Rumford. Un altro fotometro è quello di Rumford, costrutto sul principio del paragone delle ombre. Esso pure risulta da un quadro verticale traslucido di carta o di vetro smerigliato (fig. 377), dinanzi al quale è fissata un'asta verticale

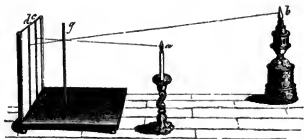



Fig. 377.

opaca *g*. Le due sorgenti di luce, per esempio, *a*, *b*, vengono collocate in modo che ognuna projetti sul quadro un'ombra del-

l'asta *g*. Per farne il confronto si allontana la più intensa finchè le due ombre *d*, *c* appajono della stessa tinta all'occhio posto dalla parte opposta sulla perpendicolare al mezzo del quadro.

Fotometro di Ritchie. Un terzo fotometro è quello di Ritchie, che consiste in una cassetta rettangolare, nell'interno della quale sono disposti due pezzi di vetro smerigliato, di una grandezza presso a poco eguale alla sezione della cassa, inclinati fra loro dal basso all'alto, in modo da avvicinarsi e quasi toccarsi alla parte superiore, lungo una linea perpendicolare alla lunghezza della cassa. Al mezzo di questa linea è praticato un piccolo foro, dove l'osservatore applica l'occhio per guardare i due vetri smerigliati, illuminati dalle due sorgenti poste alle due estremità della cassetta. Anche in questo caso si sposta una delle due sorgenti luminose, finchè i due vetri riescano egualmente illuminati. Allora dalla distanza dei due lumi dal mezzo dell'apparato si deduce la loro intensità relativa.

Fotometro di Govi. Ma i fotometri descritti, e tutti gli altri che dipendono dal medesimo principio, presentano l'inconveniente di rendere difficile od impossibile il confronto di due luci che non sieno dello stesso colore. Epperò il fiorentino Govi propose recentemente un nuovo fotometro, che denominò *fotometro analizzatore*, nel quale il confronto non si fa che su raggi dello stesso colore. A questo scopo i fasci che provengono dalle due luci da confrontare, prima di cadere su di una lastra di vetro smerigliato o su di uno schermo di carta, attraversano un prisma, da cui vengono decomposti, in modo che si possono paragonare fra loro i raggi dello stesso colore che si ottengono separati.

Fig 378.

Fotometro a punto brillante di Weatstone. Questo stromento è formato da una cassa cilindrica (fig. 378) di cinque centimetri di diametro, attraversata nella direzione dell'asse da un albero, a cui s'imprime un rapido movimento di rotazione, per mezzo di una manovella *d* e di due rote dentate interne. Questo albero trascina un braccio, all'estremità del quale rota un roc-

chetto, che imbocca i denti disposti sul contorno della base superiore della cassa cilindrica. In un punto eccentrico del rocchetto è fissata una piccola bolla di vetro, od una piccola palla forbita d'acciajo, che riflette molto bene la luce, e per conseguenza descrive nello spazio una traccia brillante $a'b'$, quando si metta in moto l'apparato, al cui doppio movimento essa deve partecipare. Ciò posto, allorchè sono date due luci da paragonare, si colloca fra di esse il fotometro, e lo si fa rotare rapidamente. I punti brillanti, prodotti dalla riflessione delle due sorgenti luminose in due luoghi opposti della superficie della perla, producono due striscie luminose, simili a quelle che sono rappresentate nella figura laterale. Se una di esse è più intensa dell'altra, si avvicina lo strumento a quest'ultima fino a tanto che le due striscie presentino la medesima vivacità. Allora sarà agevole fare il confronto fra le forze illuminanti delle due sorgenti, le quali saranno espresse, giusta la sopra esposta legge, dalla misura delle loro rispettive distanze dal fotometro.

Quando si volesse avere due striscie brillanti per ogni sorgente luminosa, con diversa ampiezza, si potrebbe assicurare alla staffa, che sostiene il rocchetto interno, un altro rocchetto identico, che scorra lungo il lembo esterno dell'anello dentato. Dal movimento contemporaneo dei due rocchetti risulterebbero le epicicloidi interne $a'b'$ e le esterne ab.

In ogni caso poi, e qualunque sia il fotometro adoperato, per essere sicuri dell'esattezza del risultato, è d'uopo fare diverse esperienze, variando le distanze delle sorgenti luminose dal fotometro.

425. **Legge secondo la quale i mezzi trasparenti assorbono la luce**. Le leggi esposte sull'intensità della luce suppongono che ogni raggio conservi individualmente la sua intensità, ossia che si propaghi in un mezzo perfettamente diafano, da cui non soffra diminuzione alcuna. Ma ciò non ha mai luogo. Abbiam già osservato che il mezzo, qualunque sia la sua natura, assorbe sempre una porzione più o meno notevole della luce che lo attraversa. Da principio si è supposto che la quantità di luce così assorbita fosse proporzionale alla densità del mezzo attraversato; ma Bouguer ha dimostrato che la legge di questo fenomeno non è così semplice. Egli ha trovato che le intensità dei raggi luminosi formano una progressione geometrica decrescente quando gli spessori del mezzo formano una progressione aritmetica crescente. Lo stesso fisico si è proposto di valutare la quantità di luce che viene assorbita dall'atmosfera; e da' suoi calcoli ebbe i due seguenti risultati. 1.° Alla superficie della terra una luce è indebolita di un $^1/_3$ quando i suoi raggi

hanno attraversato uno strato d'aria di tre leghe ed un quarto. 2.° Le intensità dei raggi solari a diverse altezze sull'orizzonte, rappresentando con 1000 l'intensità della luce che ci perverrebbe in assenza dell'atmosfera, sono espresse dalla tavola seguente.

Altezza	Intensità	Altezza	Intensità	Altezza	Intensità
0	6	5	1201	30	6613
1	7	10	3149	40	7237
2	192	15	4535	50	7624
3	454	20	5474	70	8016
4	802	25	6136	90	8123

ARTICOLO TERZO

RIFLESSIONE DELLA LUCE.

426. **Riflessione della luce — sue leggi.** La luce, quando passa da un mezzo ad un altro, che differisce dal primo nella natura chimica o nella densità, non mantiene più una direzione rettilinea, ma, alla superficie di separazione dei due mezzi, in parte ritorna nel mezzo primitivo, in parte penetra nel nuovo mezzo, se è trasparente, declinando però sensibilmente dalla sua direzione, e l'altra viene estinta od assorbita, come abbiamo poc'anzi osservato. Il primo fenomeno si chiama *riflessione della luce*, ed il secondo *rifrazione*.

Nel sistema delle ondulazioni si spiega il fenomeno della riflessione della luce in quella maniera con cui abbiamo spiegato lo stesso fenomeno nel suono; e le leggi che lo governano sono identiche a quelle che segue la riflessione del suono, e però: 1.° L'angolo di riflessione è eguale a quello d'incidenza. 2.° Il raggio incidente ed il raggio riflesso si trovano in uno stesso piano perpendicolare alla superficie riflettente. Le parole —*raggio incidente, raggio riflesso, angolo d'incidenza* ed *angolo di riflessione* — hanno quel medesimo significato che loro abbiamo attribuito nell'acustica.

Per dimostrare teoricamente le due leggi esposte si possono qui ripetere le osservazioni che abbiamo fatto per la riflessione del suono. Anche l'esperienza però ce ne offre una prova. L'apparato che si adopera in questo caso consiste in un cerchio

graduato (fig. 379) fisso in posizione verticale, e portante al centro uno specchio piano M orizzontale. Questo cerchio porta due cursoj P e C, il primo dei quali è munito di una lastra di vetro smerigliato, e l'altro di un diaframma opaco forato al centro. I raggi del sole o di una sorgente artificiale sono riflessi da uno specchio I, in maniera che il fascio sottile, che attraversa il foro del diaframma, cada al centro dello specchio M. A questo punto il fascio luminoso viene riflesso una seconda volta, e prende costantemente una direzione da formare sul vetro smerigliato l'immagine luminosa del foro di C, quando il cursojo P sia fissato in un punto opportuno. Ciò prova che il raggio riflesso è diretto, come il raggio incidente, in un piano parallelo al piano del cerchio, e luogo geometrico della normale allo specchio. Inoltre, l'arco compreso fra i due cursoj è diviso in due parti eguali dalla normale allo specchio, nel punto A, come viene indicato dalla prima legge.

Fig. 379.

Scolio. La geometria dimostra che il cammino percorso dalla luce per passare da un punto *l* (fig. 380) ad un punto *k*, dopo d'aver toccato la superficie *mm*, è il più breve fra tutte le linee spezzate che si possono condurre fra un punto della superficie *mm* ed i due punti *l* e *k*.

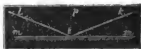



Fig. 380.

427. **Riflessione regolare — ed irregolare**. La riflessione della luce dicesi *speculare*, o *regolare*, quando tutti i raggi riflessi sono diretti verso la medesima parte; ed invece chiamasi *irregolare*, allorchè questi raggi sono diretti in tutti i sensi. Si dice che la luce è *riflessa* nel primo caso, e *diffusa* nel secondo. Tuttavia nell'uno e nell'altro caso la luce si riflette costantemente colle medesime leggi, e la direzione dei raggi riflessi varia solo per la diversità delle superficie riflettenti. Le superficie levigate riflettono la luce in una direzione unica, perchè le loro particelle si trovano in un piano solo; le scabre la riflettono in molte diverse direzioni, perchè le particelle che le compongono sono diversamente poste, e le une più o meno inclinate sulle altre; cioè le superficie levigate riflettono la luce specularmente, e le scabre la diffondono. Per mezzo della luce riflessa specularmente noi vediamo i corpi luminosi per sè stessi;

è per mezzo della luce diffusa vediamo gli altri corpi. Quindi se tutti i corpi fossero perfettamente puliti, non vedremmo che quelli luminosi per sè stessi, l'imagine dei quali sarebbe riprodotta per riflessione alla superficie degli altri. Se, per esempio, in una camera oscura, si riceve un fascio di luce solare sopra uno specchio ben terso, non si vede lo specchio, ma soltanto l'immagine del sole. Quando però si diminuisce la levigatezza della superficie riflettente, spargendovi sopra una polvere leggera, la quantità di luce diffusa aumenta, l'imagine solare s'indebolisce, e lo specchio diviene visibile in tutte le parti della camera. Per lo stesso motivo distinguiamo la superficie di uno specchio quando è coperta di polvere, o per qualunque altra causa ha perduto della sua primitiva levigatezza; ma in ogni altro caso non ne constatiamo la presenza che pel cornice che lo limita, o per le imagini che forma degli oggetti circostanti.

Intensità della luce riflessa specularmente. La quantità di luce riflessa specularmente dipende dalla natura del corpo riflettente, dallo stato della superficie del corpo stesso, e dall'angolo che i raggi incidenti fanno colla normale. Nella tavola seguente sono esposti alcuni risultati delle esperienze di Bouguer, fatte a questo proposito sopra superficie levigatissime. La quantità di luce incidente è rappresentata da 100.

Nome delle sostanze	Angolo formato dai raggi incidenti colla superficie	Intensità della luce riflessa
Acqua	0°, 30′	72
»	15°	21
»	30°	6, 5
»	Dai 60° ai 90°	1, 8
Vetro	5°	54
»	15°	30
»	30°	11, 2
»	Dai 60° ai 90°	2, 5
Marmo nero pulito	3°, 15′	60
»	15°	15, 6
»	30°	5, 1
»	Dai 60° ai 90°	2, 3
Mercurio	3°, 15′	70
»	Dai 60° ai 90°	60
Specchi di vetro a mercurio	15°	63
Specchi metallici	15°	56

Da questa tavola appare che aumentando l'angolo formato dai raggi incidenti colla superficie, diminuisce la quantità di luce riflessa, ma non per egual modo in tutte le sostanze.

La luce che non è riflessa dai corpi levigati opachi viene estinta; e questa, nel caso d'incidenza normale sopra uno specchio metallico, o vitreo a mercurio, forma circa i $^2/_5$ della luce incidente. La quantità della luce riflessa è molto minore dei $^3/_5$, quando il corpo riflettente è diafano.

L'intensità della luce diffusa da un corpo a superficie scabra varia non solo per la direzione dei raggi incidenti, ma anche per quella dei raggi riflessi che si esperimentano. Imperocchè tutte le sostanze possono riflettere specularmente una porzione della luce incidente; e quindi nella direzione dei raggi riflessi specularmente la luce manifesta una intensità maggiore che non in qualunque altra direzione. Inoltre le asperità che ricoprono le superficie dei corpi scabri non diffondono la luce alla stessa maniera in tutte le direzioni, come si osserva variando solo l'incidenza, ovvero solo la direzione nell'esperimento.

428. **Specchi — imagini**. I corpi a superficie levigata, che meglio danno luogo al fenomeno della riflessione speculare, sieno essi di metallo o di vetro, si chiamano *specchi*. Gli oggetti posti dinanzi ad uno specchio si veggono per riflessione, ed il punto od il complesso di parecchi punti dello spazio, a cui si riporta la causa del fenomeno nella sensazione della visione, si denomina *imagine*. In questo punto od in questo complesso di parecchi punti, a cui riportiamo la causa del fenomeno della visione, qualche volta si trova realmente la causa stessa, e altre volte non vi si trova. Quindi le imagini si distinguono in *reali* e *virtuali*; sono reali nel primo caso e, virtuali nel secondo. Gli specchi poi, giusta la loro forma, si distinguono in *piani* e *sferici*.

429. **Specchi piani**. *Negli specchi piani l'imagine di un punto si produce dietro lo specchio, ad una distanza eguale a quella del punto dato, e sulla perpendicolare condotta da questo punto allo specchio.* Supponiamo che il raggio AH (fig. 381), partendo dal punto A incontri lo specchio MN, il quale lo rifletta secondo la direzione HR, facendo l'angolo di riflessione PHR eguale all'angolo d'incidenza PHA. Se dal punto A si conduce la AS perpendicolare allo specchio, e si prolunga il raggio HR, al dissotto dello specchio, fino ad incontrare questa perpendicolare in un punto a, si formano due triangoli ASH, aSH eguali, perchè hanno un lato comune, adiacente a due angoli rispettivamente eguali. Dall'eguaglianza dei triangoli ASH, aSH consegue

l'eguaglianza di AS ad aS; ossia che il punto a, il quale si trova sul prolungamento della perpendicolare AS, dista dallo specchio quanto il punto A; vale a dire un raggio qualunque AH prende, dopo la riflessione, una direzione tale che il prolungamento al dissotto dello specchio incontra la perpendicolare AS in un punto a, distante dallo specchio quanto lo stesso punto A. È quanto abbiam già osservato per un raggio sonoro. Questa proprietà, non essendo esclusiva del raggio AH, perchè indipendente dalla sua lunghezza ed inclinazione alla superficie, si applica a qualunque altro raggio partito da A. Quindi si può conchiudere che tutti i raggi emessi dal punto A, e riflessi dallo specchio, seguono, dopo la riflessione, la stessa direzione come se fossero tutti partiti dal punto a. Perciò l'occhio attribuisce al punto a l'origine dei raggi luminosi che lo percuotono. Dunque negli specchi piani l'imagine di un punto si produce dietro allo specchio, ad una distanza eguale a quella del punto dato, e sul prolungamento della perpendicolare condotta da questo punto allo specchio. Questa imagine corrisponde al centro virtuale nella riflessione del suono e gode della medesima proprietà.

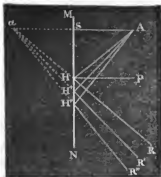



Fig. 381.

Negli specchi piani l'imagine di un oggetto ha la stessa grandezza dell'oggetto — gli è simmetrica rispetto allo specchio — ed è virtuale. Quando si pone dinanzi ad uno specchio piano, non un punto solo, ma un complesso di parecchi punti, ossia un oggetto qualunque, come, per esempio, la fiamma s di una candela (fig. 382), si forma un'imagine s', che è *eguale* e *simmetrica* ad s; perchè s' non è che il complesso delle imagini dei diversi punti di s, ciascuna delle quali deve essere distante dallo specchio quanto il punto a cui corrisponde, e sul prolungamento della perpendicolare da questo punto abbassata allo specchio. Inoltre l'imagine s' è *virtuale*, cioè non è formata dall'attuale riunione dei raggi riflessi, ma dall'ideale prolungamento delle loro direzioni: l'occhio che riceve i raggi luminosi in o, suppone l'origine di essi in s', dove realmente non è, ma

Fig. 382.

idealmente concorrono i prolungamenti dei raggi riflessi in *i*. Si potrebbe per ultimo osservare che l'angolo SaS', formato dall'oggetto colla sua imagine, è doppio dell'angolo Sai, formato dall'oggetto colla superficie riflettente. Quindi le imagini degli oggetti che si trovano, per esempio, sulla riva di un lago, o si movono sopra di esso, riflesse dall'acqua, si veggono capovolte; ed un oggetto verticale, veduto per mezzo di uno specchio piano, inclinato di 45°, appare orizzontale.

430. **Imagini multiple formate da due specchi paralleli**. Se un oggetto *m* (fig. 383), per esempio, un globo,

Fig. 383.

viene collocato fra due specchi *a*, *b* piani e paralleli, l'occhio di un osservatore, posto fra *a* e *b*, vedrà un gran numero di immagini dell'oggetto *m*. Imperocchè alcuni raggi arriveranno all'occhio dell'osservatore dopo una prima riflessione sullo specchio *a*, e gli daranno l'immagine m', simmetrica ad *m* rispetto allo specchio *a*; altri dopo una prima riflessione sullo specchio *b*, e formeranno un'imagine m''. Ma altri raggi arriveranno all'occhio dopo una riflessione sullo specchio *b* ed un'altra sullo *a*, ovvero dopo una sullo specchio *a* ed una seconda sullo specchio *b*, e formeranno le imagini m''' ed m''''; e così di seguito giungeranno successivamente all'occhio i raggi dall'uno e dall'altro lato, dopo d'aver subito un numero di riflessioni sempre maggiore, e daranno due serie d'imagini, che si allontaneranno sempre più dallo specchio. Ne possiamo avere una prova esperimentale di questo processo colorando in verde l'emisfero sinistro e in rosso l'emisfero destro del globo *m*. In tal caso l'imagine m' è verde, e l'imagine m''' è rossa; mentre l'imagine m'' è rossa, l'imagine m'''' è verde, e tutte le altre continuano ad ambedue i lati alternativamente verdi e rosse. Il numero delle imagini, così prodotte da due specchi paralleli, teoreticamente sarebbe infinito, perchè i raggi luminosi potrebbero riflettersi dall'uno all'altro specchio un numero infinito di volte; ma l'indebolimento che soffre l'intensità della luce ad ogni riflessione fa sì che le imagini divengano di mano in mano più languide, e presto cessino di manifestarsi. Avviene qui nella riflessione della luce ciò che ha luogo del suono nell'eco polifona.

Imagini multiple prodotte da due specchi inclinati ad angolo. Quando i due specchi formano tra loro un angolo, danno luogo ancora a due serie di imagini, le quali sono tutte situate sopra una circonferenza, che passa pel punto luminoso ed ha il centro nel vertice dell'angolo formato dai due specchi. Di fatto sieno *cm* e *cm'* (fig. 384) i due specchi, che formano tra loro un angolo di 90°, ed *a* sia il punto luminoso. L'imagine di questo punto nello specchio *cm* sarà il punto simmetrico *b*, ed *ab* sarà la corda di una circonferenza, avente il centro in *c*. Per lo stesso principio, l'imagine del punto *a* nello specchio *cm'* sarà il punto simmetrico *b'*, ed *ab'* sarà la corda di una circonferenza, avente il centro in *c*, e dello stesso raggio *ac*. Siccome poi il punto *b* può essere considerato come l'origine dei raggi riflessi dallo specchio *cm*, ed il punto *b'* come l'origine dei raggi riflessi dallo specchio *cm'*, così il punto *b* darà sullo specchio *cm'* un'imagine *d*, e *bd* sarà la corda della circonferenza; ed il punto *b'* darà anch'esso un'imagine sullo specchio *cm*, che in questo caso cadrà in *d*, e *b'd* sarà la corda della stessa circonferenza, avente il centro *c*, ed il raggio $cb' = ca$. In ogni caso si vede che le imagini si allontanano vieppiù dagli specchi, in maniera che si arriva ad un punto in cui questa imagine cade nell'angolo formato dai prolungamenti dei due specchi, come avvenne dell'imagine *d*; ed allora la serie termina, perchè i raggi riflessi in modo d'avere la loro origine ipotetica in questo punto, che si trova dietro ad ambedue gli specchi, non possono più riflettersi ulteriormente sopra alcuno dei medesimi specchi. Quindi il numero delle imagini prodotte da due specchi inclinati fra loro ad angolo non può essere, neppur teoreticamente, infinito. Nel caso supposto le imagini, computando anche il punto luminoso, sono quattro. Il calcolo e l'esperienza mostrano che in generale: 1.° quando l'arco *mm'*, abbracciato dai due specchi, è compreso un numero *n* intiero di volte nella circonferenza determinata dai punti *a*, *b*, *c*, un punto *a*, situato su questo arco, dà un numero $n + 1$ di imagini (contando lo stesso punto luminoso), se è dispari e non collocato al mezzo di *mm'* — ed un numero *n*, se è pari o collocato al mezzo di *mm'*. 2.° Quando l'arco *mm'* è compreso un numero *n* di volte nella circonferenza suddetta, con un residuo $2x$, un punto *a* dà un numero $n + 1$ di imagini, se dista da ogni specchio di una quantità maggiore di x allorchè *n* è pari, o di una quantità minore di x allorchè *n* è dispari; ed invece dà un numero

Fig. 384.

$n+2$ di imagini, se dista da ogni specchio di una quantità minore di x allorchè n è pari, o di una quantità maggiore di x allorchè n è dispari. Fra le imagini si enumera sempre anche il punto luminoso.

Caleidoscopio. Il principio della formazione delle imagini multiple negli specchi inclinati ad angolo ha ricevuta una applicazione nel *caleidoscopio*, piccolo apparato in cui, come significa il nome stesso, si *guarda* (σκοπεω) una *bella* (καλος) *imagine* (εἶδος). Il caleidoscopio è composto di un tubo di cartone, nel quale sono disposti, secondo la lunghezza, due specchi inclinati fra loro di 45° o di 60°, e di una scatola cilindrica, avente lo stesso diametro del tubo, e fissata ad una estremità di esso. Questa scatola ha le basi trasparenti, e contiene alcuni piccoli corpi di forma e colore diverso, per esempio, frammenti di vetro colorato, laminette di similoro, ecc. Quando si guarda nel foro, praticato nel disco che chiude l'estremità opposta alla scatola, si veggono le imagini di questi oggetti disposte in modo da formare figure simmetriche (fig. 385), la disposizione delle quali varia col mutare le posizioni relative dei corpi, facendo rotare il tubo.

Fig. 385.

Imagini multiple negli specchi di vetro amalgamato. Gli specchi piani metallici, avendo una sola superficie riflettente producono una sola imagine, ma gli specchi di vetro amalgamato danno luogo a parecchie imagini, che si possono scorgere con facilità, guardando obliquamente in uno specchio siffatto, dinanzi al quale sia collocata la fiamma di una candela. Si vede una prima imagine poco intensa, indi una seconda assai distinta, e dietro di questa se ne scorgono parecchie altre, la cui intensità decresce successivamente fino a diventar nulla. Questo fenomeno è prodotto dalle riflessioni sulle due superficie, che formano lo specchio di vetro. Quando i raggi luminosi, che partono da un punto A (fig. 386), incontrano la prima superficie dello specchio amalgamato MN, si riflettono parzialmente e formano la prima imagine ***a***. La parte di essi che penetra nel vetro, si riflette sullo strato metallico, che riveste la superficie posteriore dello specchio, e forma l'imagine ***a'***. Questa imagine, distante dalla prima del doppio della grossezza dello specchio, è più intensa, perchè lo strato metallico, che ricopre lo specchio, riflette meglio del vetro. Le altre imagini sono sempre meno chiare perchè formate dai raggi emergenti, dopo una serie di riflessioni successive sulle due facce interne dello specchio. Questa molte-

plicità di imagini sarebbe dannosa nelle esperienze d'ottica; epperò nella costruzione degli apparati che servono ad esse si adoperano gli specchi metallici.

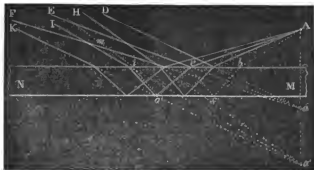



Fig. 386.

451. **Specchi sferici — concavi — convessi.** Fra gli specchi curvi quelli che hanno un'importanza particolare sono gli sferici. Lo specchio sferico è una calotta sferica levigata o capace di riflettere regolarmente la luce. Lo specchio sferico si può supporre generato dalla rotazione di un arco di cerchio, intorno al raggio del suo punto di mezzo. Lo specchio sferico si chiama concavo o convesso, a seconda che la riflessione ha luogo sulla sua superficie concava o sulla convessa.

Centro di curvatura — centro di figura. Sia MN (fig. 387) l'arco di cerchio che rotando attorno al raggio AC genera lo specchio sferico; il centro C della sfera, a cui lo specchio appartiene, si chiama *centro di curvatura* o *centro geometrico;* ed il punto A, che appartiene al raggio, intorno a cui l'arco rotando genera lo specchio, si chiama il *centro di figura.*

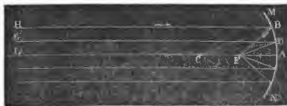



Fig. 387.

Asse principale — assi secondarj. La retta indefinita che passa, o meglio che è determinata dai due centri di curvatura e di figura, si chiama *asse principale;* e tutte le rette che passano

pel centro di curvatura, e non pel centro di figura, si denominano *assi secondarj.*

Sezione principale — apertura dello specchio. La sezione fatta in uno specchio da un piano che passa per l'asse principale, si chiama *sezione principale* o *sezione meridiana* dello specchio. Apertura poi dello specchio si denomina l'angolo formato dai raggi condotti ai lembi di esso in una sezione principale; tale sarebbe l'angolo MCN, supposti M ed N i lembi dello specchio.

Fuochi — reali — virtuali. I punti nei quali concorrono i raggi riflessi od i loro prolungamenti si chiamano *fuochi:* nel primo caso si chiamano *fuochi reali*, nel secondo *virtuali.* La teorica della riflessione della luce sugli specchi sferici si riduce a determinare la posizione e le proprietà del fuoco nei diversi casi che possono occorrere, variando la direzione reciproca dei raggi incidenti, o la posizione dell'oggetto luminoso in ordine allo specchio. Il principio fondamentale di questa teorica è che la riflessione della luce sugli specchi sferici deve avvenire colle stessi leggi, secondo le quali ha luogo negli specchi piani, perchè la luce viene riflessa dai punti che compongono le superficie, e questi punti non cangiano modo di agire formando una superficie piana piuttosto che una curva; e quindi la parte essenziale del fenomeno non può essere modificata.

432. **Fuochi negli specchi concavi.** 1.° *Caso.* Supponiamo innanzi tutto che la sorgente luminosa sia un punto situato ad una distanza infinita dallo specchio concavo MN, e quindi che i raggi incidenti HB, GD, LA (fig. 387) siano paralleli all'asse principale. La normale ad una superficie curva in un punto determinato è la perpendicolare all'elemento corrispondente, ossia alla tangente nel punto stesso, e nel caso che esaminiamo è il raggio o la retta che unisce questo punto col centro di curvatura dello specchio. Quindi nell'ipotesi che la superficie dello specchio sia formata da un numero grandissimo di superficie piane infinitamente piccole, ossia da tanti punti a ciascuno dei quali avviene la riflessione della luce secondo le leggi enunciate, per determinare la direzione dei raggi riflessi in B e D, basterà condurre le normali CB, CD, e formare gli angoli CBF (eguale a CBH) e CDF (eguale a CDG): BF e DF saranno le direzioni dei raggi riflessi, che prolungate s'incontrano in un punto F posto sull'asse principale. Fintanto che l'apertura dello specchio non supera gli otto od i dieci gradi, qualsiasi altro raggio parallelo all'asse, dopo di esser stato riflesso, passa approssimativamente pel punto F. Questo punto in cui, avvenuta la riflessione, concorrono i raggi che prima dell'incidenza erano paralleli all'asse principale, si

chiama *fuoco principale* dello specchio concavo, e la distanza FA *distanza fuocale principale*. Se i raggi incidenti fossero paralleli ad un asse secondario, concorrebbero allo stesso modo in un punto determinato di questo asse. Quindi il fuoco principale è quel punto di un asse in cui prossimamente dallo specchio sono riflessi i raggi paralleli all'asse medesimo, emessi da un punto luminoso posto a distanza infinita. Importa notare che siccome tutti i raggi paralleli all'asse vanno a concorrere sensibilmente nello stesso punto F; così, reciprocamente, i raggi irradiati da un oggetto luminoso collocato in F, dopo la riflessione sullo specchio devono propagarsi nella direzione parallela all'asse del punto F; perchè è evidente che allora gli angoli di riflessione e d'incidenza si scambiano reciprocamente.

2.° *Caso.* Supponiamo, in secondo luogo, che i raggi luminosi incidenti sullo specchio siano emessi da un punto L (fig. 388)

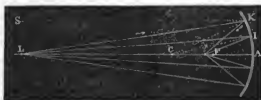



Fig. 388.

situato sull'asse principale, ad una distanza determinata dallo specchio concavo. In questo caso l'angolo d'incidenza LKC è minore dell'angolo d'incidenza nel caso antecedente SKC; e quindi anche l'angolo di riflessione dovrà essere più piccolo; e per conseguenza il raggio riflesso, invece di incontrare l'asse nel punto F, lo dovrà incontrare in un punto *l*, più vicino al centro di curvatura che non il fuoco principale. Fintanto che l'apertura dello specchio non sorpassa un piccolo numero di gradi, tutti i raggi emessi dal punto L, in seguito alla riflessione, concorrono sensibilmente nello stesso punto *l*. Questo chiamasi *fuoco conjugato* per indicare che i punti L ed *l* sono reciproci; cioè, se il punto luminoso fosse trasportato in *l*, il fuoco si formerebbe in L, poichè allora *l*K diventerebbe il raggio incidente, ed LK sarebbe il riflesso. Quando il punto luminoso fosse in un asse secondario (fig. 389) il fuoco conjugato si formerebbe alla stessa maniera in un punto di esso. Il fuoco conjugato pertanto è il punto di un asse nel quale dallo specchio sono riflessi i raggi emessi da un punto luminoso collocato sull'asse stesso ad una distanza finita.

3.° *Caso*. In terzo luogo si consideri il caso in cui l'oggetto luminoso è collocato in L (fig. 390) tra il fuoco principale e lo specchio. Allora un raggio qualsiasi LM, irradiato dal punto L, fa colla normale CM un angolo d'incidenza LMC maggiore dell'angolo FMC, formato dai raggi incidenti emessi dal corpo luminoso collocato nel fuoco principale; quindi l'angolo di riflessione CME deve essere maggiore dell'angolo di riflessione CMS; e per conseguenza il raggio riflesso, che nel primo caso era parallelo all'asse, ora divergerà da esso. Tutti gli altri raggi partiti dal punto L si trovano nelle medesime circostanze, e quindi non si possono attualmente incontrare. Ma i prolungamenti delle loro direzioni al di là dello specchio concorrono sensibilmente in un punto *l*, situato sull'asse; e fanno nell'occhio, che li riceve, quella stessa impressione che produrrebbero qualora fossero emessi dal punto *l*. Questo punto si chiama *fuoco virtuale*. Esso sarebbe, allo stesso modo, sul prolungamento di un asse secondario, qualora il punto luminoso venisse collocato su questo. Il fuoco virtuale pertanto si definisce quel punto di un asse nel quale si suppongono concorrere i prolungamenti dei raggi riflessi dallo specchio, e provenienti da un punto luminoso collocato sull'asse medesimo, tra il centro di figura ed il fuoco principale.

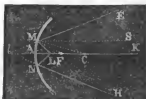



Fig. 390. Fig. 389.

Proprietà del fuoco principale. Il fuoco principale è sempre situato dalla parte dello specchio, nella quale havvi l'oggetto luminoso; ed è equidistante dal centro di curvatura e dal centro di figura, e quindi la sua posizione è costante. Di fatto il triangolo FDC (fig. 387) è isoscele, perchè gli angoli CDF e DCF sono eguali, essendo l'angolo GDC, eguale angolo DCF, come alterni interni. Per conseguenza è FC = FD; ma FD si può considerare eguale ad FA, quando l'apertura dello specchio sia piccola, come nel caso supposto; dunque sarà FC = FA, ossia la distanza fuocale principale eguaglia la metà del raggio, cioè, il fuoco principale è equidistante dai due centri di curvatura e di figura.

Proprietà del fuoco conjugato. Il fuoco conjugato, essendo reale come il fuoco principale, è sempre dalla parte dello specchio, ove

si trova l'oggetto; ma la sua posizione è variabile, e propriamente si sposta nel medesimo senso dell'oggetto L (fig. 388); giacchè a seconda che questo s'avvicina o s'allontana dal centro C di curvatura, gli angoli d'incidenza e di riflessione decrescono od aumentano, e quindi nel primo caso *l* s'accosta a C, e nel secondo si dilunga da esso. Quando poi l'oggetto luminoso fosse nel centro di curvatura, il fuoco conjugato coinciderebbe coll'oggetto stesso, perchè essendo nullo l'angolo d'incidenza, è tale anche quello di riflessione, ed il raggio riflesso ritorna sopra il raggio incidente.

Proprietà del fuoco virtuale. Il fuoco virtuale, essendo formato dai prolungamenti dei raggi riflessi, si trova al lato dello specchio opposto a quello occupato dall'oggetto luminoso. Inoltre, questo fuoco si move in senso contrario all'oggetto. Quando quest'ultimo s'avvicina allo specchio, altrettanto avviene del fuoco; giacchè nel caso supposto aumenta la grandezza degli angoli d'incidenza e di riflessione, e insieme la divergenza dei raggi riflessi, e la convergenza dei loro prolungamenti, ossia il punto in cui essi s'incontrano si fa sempre più dappresso allo specchio. Nel caso contrario l'oggetto ed il fuoco si allontanano contemporaneamente dallo specchio; ma i loro movimenti avvengono sempre in direzioni opposte.

433. **Fuochi negli specchi convessi.** Quando alcuni raggi SI, TK (fig. 391), paralleli fra loro, arrivano ad uno specchio

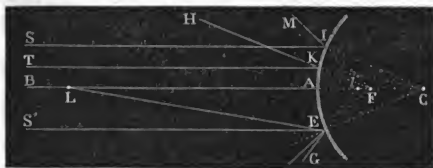



Fig. 391.

convesso, dopo la riflessione divergono; giacchè, conducendo le normali alla superficie convessa nei punti I e K, si determinano gli angoli d'incidenza, e per conseguenza anche gli angoli di riflessione a loro eguali, e quindi le direzioni IM e KH dei raggi riflessi, le quali sono evidentemente divergenti. Perciò questi raggi davanti allo specchio non s'incontrano certo. I loro prolungamenti per altro concorrono virtualmente dietro lo specchio, in un punto dell'asse, che si dice *fuoco virtuale principale* dello

specchio. Il triangolo FCK è isoscele, e quindi il punto F, come negli specchi concavi, è equidistante dai due centri di curvatura e di figura.

Se poi i raggi luminosi incidenti sullo specchio convesso, invece di essere paralleli fra loro, sono divergenti, ossia invece di partire da un punto luminoso collocato a distanza infinita dallo specchio, si spiccano da un punto luminoso posto ad una distanza determinata sull'asse principale o sopra un asse secondario qualunque, allora dopo la riflessione si separano sotto un angolo maggiore di quello che formano nel caso precedente; perchè aumentando l'angolo d'incidenza aumenta quello di riflessione, e quindi anche la divergenza dei raggi riflessi. Epperò i loro prolungamenti s'incontrano in un punto più vicino allo specchio, o, meglio, in un punto situato tra il centro di curvatura ed il fuoco virtuale principale sull'asse corrispondente. Questo è un fuoco virtuale *variabile*, ossia che si sposta relativamente all'oggetto, come il fuoco virtuale negli specchi concavi. Dunque, se i raggi incidenti sullo specchio convesso sono paralleli o divergenti, non si formano che fuochi virtuali; epperò, essendo naturalmente tali tutti i raggi incidenti, si dice che negli specchi convessi i fuochi sono sempre virtuali. Si potrebbe però avere un fuoco reale anche con questi specchi, facendo cadere sopra di essi un fascio di raggi convergenti verso un punto compreso tra lo specchio ed il fuoco principale.

434. **Determinazione pratica del fuoco principale in ambedue le specie di specchi sferici.** Nelle applicazioni degli specchi concavi o convessi occorre spesse volte di conoscere il raggio di curvatura. Questa ricerca si riduce a quella del fuoco principale; perchè, essendo questo fuoco collocato alla metà del raggio, per avere quest'ultimo basta raddoppiare la distanza fuocale. A determinare il fuoco di uno specchio concavo, lo si presenta ai raggi solari in modo che l'asse principale di esso sia parallelo ai medesimi; indi, con un piccolo diaframma di vetro smerigliato, si cerca il luogo ove l'immagine offre la massima intensità di luce: ivi trovasi il fuoco principale. Se lo specchio è convesso, lo si copre di carta, lasciandone però scoperte due piccole porzioni I ed H, ad eguali distanze dal centro di figura A (fig. 392), e nello stesso piano meridiano.

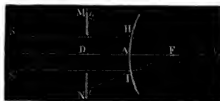



Fig. 392.

In seguito gli si mette dinanzi uno schermo MN, nel cui centro sia praticata una apertura circolare di un diametro più grande della distanza IH; e si riceve sullo specchio medesimo un fascio di raggi solari SH, S'I paralleli all'asse. La luce si riflette in H ed I sulle parti in cui lo specchio è scoperto, e forma nel diaframma MN due imagini brillanti in *h* ed *i*. Allora si sposta il diaframma medesimo finchè trovasi una posizione in cui l'intervallo *hi* è doppio dell'intervallo HI. La distanza AD dello specchio dallo schermo in questa posizione rappresenta la distanza fuocale principale. Infatti i triangoli FHI, F*hi* sono simili, perchè hanno gli angoli eguali. Nei triangoli simili le altezze stanno fra loro come le basi, ossia FD : FA = *hi* : HI. Ma HI è la metà di *hi*; quindi anche FA sarà la metà di FD e per conseguenza FA = AD. Dunque, essendo FA la distanza fuocale principale, AD rappresenta il valore di questa lunghezza; ed il doppio di AD rappresenterà il raggio di curvatura dello specchio.

435. **Formazione delle imagini negli specchi concavi.** Finora abbiamo supposto che l'oggetto luminoso o chiaro, situato davanti allo specchio, fosse un punto; ora consideriamo il caso in cui sia desso un corpo. Ci sarà facile il prevederne l'imagine, stante che un corpo chiaro è l'insieme di punti chiari è il complesso dei fuochi di tutti questi punti. Sia pertanto AB (fig. 393) l'oggetto luminoso collocato al di là del centro di

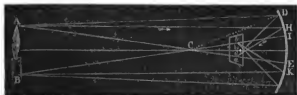



Fig. 393.

curvatura di uno specchio concavo. Per ottenere l'imagine od il fuoco conjugato di un punto qualunque A, si conduca per questo punto l'asse secondario AE; indi, segnata la direzione di un raggio incidente qualunque AD, si tracci la normale CD del punto d'incidenza, e si costruisca l'angolo di riflessione CD*a*, eguale all'angolo d'incidenza CDA. Il punto ove il raggio riflesso incontra l'asse secondario AE è il conjugato del punto A, perchè qualunque altro raggio partito da A concorre in *a*. Parimenti, se dal punto B si conduce l'asse secondario BI, i raggi emessi da questo punto, dopo la rifles-

sione, concorrono in b', e qui formano il fuoco conjugato di B. Siccome poi i fuochi conjugati di tutti i punti dell'oggetto AB si trovano fra a e b, così ab è l' imagine completa di AB.

Questa imagine è *reale*, perchè è formata dall' incontro attuale dei raggi luminosi riflessi, e non dei loro prolungamenti; *è rovesciata*, perchè il punto A situato all'alto nell'oggetto ha il suo fuoco conjugato nel punto a posto al basso nell' imagine, e viceversa il punto B dell' oggetto forma il suo fuoco conjugato nel punto b della stessa imagine; *è più piccola dell' oggetto*, perchè nei due triangoli simili CAB, Cab le basi stanno fra loro come le altezze, ossia AB : ab = X : x, chiamando X l'altezza del triangolo CAB ed x l' altezza del triangolo Cab; e finalmente essa è *posta fra il centro di curvatura e il fuoco principale*, perchè essendo l' oggetto situato al di là del centro di curvatura, ad una distanza determinata, i fuochi conjugati dei punti di esso sono posti fra il centro di curvatura e il fuoco principale. Si può vedere questa imagine in due modi: situando l'occhio sulla direzione dei raggi riflessi, ed allora si scorge un'imagine aerea dell' oggetto; ovvero ricevendo i raggi riflessi in un diaframma.

In secondo luogo, supponiamo che l'oggetto luminoso sia collocato nel centro di curvatura dello specchio. L' imagine si forma sopra il corpo stesso, e gli è eguale; perchè in tal caso i raggi luminosi nella incidenza sono perpendicolari allo specchio, quindi vengono riflessi nella medesima direzione, e ritornano ai punti dai quali sono partiti. L' imagine non è visibile perchè si confonde coll' oggetto.

In terzo luogo, quando l'oggetto si trova in ab tra il fuoco principale e il centro di curvatura, l' imagine si produce in AB, perchè i raggi incidenti si scambiano reciprocamente coi riflessi; per conseguenza è ancora reale e rovesciata, ma più grande dell'oggetto, e tanto più quanto minore è la distanza di questo dal fuoco principale.

In quarto luogo se l'oggetto è posto nel fuoco principale, non havvi imagine, perchè allora i raggi emessi da ciascun punto, dopo la riflessione, formano altrettanti fasci paralleli all' asse secondario, condotto pel punto da cui sono inviati, e quindi non possono produrre imagini, nè reali, nè virtuali, perchè è impossibile che si incontrino in alcun senso.

Finalmente, quando l'oggetto luminoso è situato tra il fuoco principale e lo specchio, i raggi partenti da ciascun punto, dopo la riflessione si volgono in direzioni divergenti. Così i raggi AD ed AK

(fig. 394) si riflettono in D e K, secondo le rette DI e KH, ed i loro prolungamenti s'incontrano in *a*, che sarà il fuoco virtuale del punto A. Allo stesso modo i raggi emessi dal punto B si riflettono sullo specchio in maniera che i loro prolungamenti formano in *b* il fuoco virtuale del punto da cui sono partiti. Tutti i punti dell' oggetto posti fra A e B hanno i loro fuochi fra *a* e *b*; e quindi *ab* è l'imagine dell' oggetto AB. Quest' imagine è *virtuale*, perchè formata non dai raggi, ma dai loro prolungamenti; è *diritta*, perchè i raggi riflessi non s'incrocicchiano; è *più grande dell' oggetto*, perchè nei triangoli simili ACB, *a*C*b* le basi stanno fra loro come le altezze, ossia AB : *ab* = X : x; chiamando X l'altezza del triangolo ACB, ed x quella del triangolo *a*C*b*. Tutto questo si ripete precisamente quando l'oggetto s'avesse a muovere lungo un asse secondario qualunque (fig. 395).

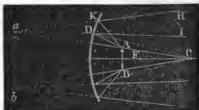



Fig. 394.

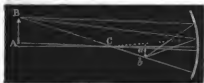



Fig. 395.

436. **Formazione delle imagini negli specchi convessi.** Negli specchi convessi le imagini non sono che virtuali, come i fuochi dei punti luminosi posti dinanzi a siffatti specchi. Supposto AB (fig. 396) l'oggetto luminoso collocato ad una distanza determinata dallo specchio convesso, è chiaro che i raggi AD e BK, dopo la riflessione si propagheranno secondo le direzioni divergenti DE e KH, ed i loro prolungamenti s' incontreranno cogli assi secondarj nei punti *a* e *b*, che saranno i fuochi dei punti A e B. Alla stessa maniera tutti i punti dell'oggetto luminoso fra A e B formeranno i loro fuochi virtuali fra *a* e *b*; e quindi si avrà in *ab* l' imagine di AB. Questa imagine è virtuale, diritta, e più piccola dell'oggetto; perchè nei due triangoli simili CAB, C*ab*, la base *ab* del più basso è minore della base AB del più alto.

Fig. 396.

437. **Formole relative agli specchi concavi.** Si può esprimere algebricamente la relazione che passa fra le distanze di un oggetto e della sua imagine da uno specchio, ed il rag-

gio di curvatura dello specchio medesimo. A questo scopo supponiamo dapprima che lo specchio sia concavo: R ne rappresenti il raggio CM (fig. 397) di curvatura, p e p' le distanze AL ed Al dello specchio dall'oggetto e dall'imagine. Nel triangolo MLl la normale CM divide l'angolo LMl in due parti eguali. Ma la bisettrice di un angolo in un triangolo divide il lato opposto in due parti rispettivamente proporzionali ai lati dell'angolo; quindi avremo la proporzione $Cl : CL = lM : LM$; da cui avremo $Cl \times LM = CL \times lM$. Epperò, se l'arco AM non supera il numero di cinque o sei gradi, le rette ML, Ml sono sensibilmente eguali alle altre AL, Al, cioè a p e p'; quindi $Cl \,.\, p = CL \,.\, p'$. Ma $Cl = CA - Al = R - p'$; e $CL = AL - AC = p - R$. Per conseguenza $(R - p')\, p = (p - R)\, p'$, ossia, eseguendo le moltipliche indicate, $Rp - pp' = pp' - p'R$; e raccogliendo in un membro i termini che contengono p', avremo $Rp = 2pp' - p'R$, ossia $Rp = p'\,(2p - R)$, da cui $p' = \frac{Rp}{2p - R}$. Se si dividono per p i due termini della frazione che costituisce il secondo membro, si ottiene $p' = \frac{R}{2 - \frac{R}{p}}$, ossia la distanza dell'imagine dallo specchio eguaglia il raggio di curvatura dello stesso, diviso per la differenza che vige fra due ed il rapporto del medesimo raggio alla distanza dell'oggetto dallo specchio.

Fig. 397.

Formola relativa agli specchi convessi. Se si suppone che nella formola precedente p' ed R siano negativi, e p sia positivo, perchè in tali specchi l'imagine è sempre virtuale, e quindi in ordine allo specchio opposta all'oggetto, avremo la formola per gli specchi convessi, ossia $p' = \frac{R}{2 + \frac{R}{p}}$.

Discussione delle formole precedenti. Cercando ora i differenti valori che assume p' nella formola degli specchi concavi, in corrispondenza di quelli che si danno a p, troveremo col calcolo la qualità, ed il luogo delle imagini quali le abbiamo determinate graficamente.

1.° L'oggetto luminoso sia ad una distanza infinita dallo specchio. In tal caso p è infinito, e quindi la formola diviene $p' = \frac{R}{2 - \frac{R}{\infty}}$.

Ma una quantità divisa per l'infinito è infinitamente piccola, ossia fisicamente nulla, e quindi la formola diviene $p' = \frac{R}{2}$: l'imagine si forma alla metà del raggio, cioè nel fuoco principale, ed è reale perchè p' è positivo.

2.° L'oggetto luminoso si avvicini allo specchio, non arrivando però al centro di curvatura. Allora p è $>$ di R, la frazione $\frac{R}{p}$ sarà una frazione propria, e quindi la differenza $2 - \frac{R}{p}$ sarà maggiore dell'unità e minore di 2; e per conseguenza $\frac{R}{2 - \frac{R}{p}}$ sarà maggiore di $\frac{R}{2}$, e minore di R, ossia p' sarà tra il fuoco principale e il centro di curvatura, e sarà reale, perchè essendo 2 maggiore di $\frac{R}{p}$, p' sarà positivo.

3.° L'oggetto sia trasferito nel centro di curvatura. In tal caso è $p = R$, quindi la formola diventa $p' = \frac{R}{2 - 1} = \frac{R}{1} = R$; ossia l'imagine coincide coll'oggetto; ed è reale, perchè dalla stessa parte dell'oggetto.

4.° L'oggetto luminoso si trovi fra il centro e il fuoco principale. Perciò p è minore di R, e quindi la frazione $\frac{R}{p}$ è mista, e per conseguenza il denominatore $2 - \frac{R}{p}$ è minore dell'unità; epperò p' sarà maggiore di R, perchè eguale ad R diviso per una frazione propria, ossia l'imagine si forma al di là del centro di curvatura, e sarà reale, perchè $2 - \frac{R}{p}$ è sempre positivo.

5.° Ammettiamo che l'oggetto luminoso abbia raggiunto il fuoco principale. In questa ipotesi è $p = \frac{R}{2}$; e quindi la formola diviene $p' = \frac{R}{2 - \frac{R}{\frac{R}{2}}} = \frac{R}{2 - \frac{2R}{R}} = \frac{R}{2 - 2} = \frac{R}{0}$. Ma una quantità divisa per lo zero è una quantità nulla, dunque p' è **nulla, ossia** non havvi imagine.

6.° Finalmente, pongasi l'oggetto luminoso tra il fuoco principale e lo specchio. Allora è p minore di $\frac{R}{2}$; e quindi $\frac{R}{p}$ è maggiore di 2; quindi il denominatore del secondo membro è negativo, ossia l'imagine è situata al lato dello specchio opposto a quello ove si trova l'oggetto, $\left(\text{e lontana di una porzione } \frac{R}{\frac{R}{p}-2}\right)$ e per conseguenza è virtuale.

Relativamente alla grandezza dell'imagine, basta ricordare che l'oggetto e l'imagine sono sempre le basi di due triangoli simili, di cui le altezze sono p e p', e le basi dei triangoli simili stanno fra loro come le altezze; quindi chiamando G la grandezza dell'oggetto ed x quella dell'imagine, avremo $G:x = p:p'$, ossia $x = \frac{G \cdot p'}{p}$; cioè la grandezza dell' imagine eguaglia il prodotto della grandezza dell'oggetto nella distanza dell'imagine dallo specchio, diviso per la distanza dell'oggetto dal medesimo specchio.

Negli specchi convessi p è costantemente negativo, ossia l'imagine è sempre virtuale.

Osservazioni. Conchiuderemo questa discussione sulle formole per gli specchi sferici con due osservazioni. 1.° Le formole accennate servono non solo a conoscere la distanza dell' imagine dallo specchio quando si conosce quella dell'oggetto ed il raggio di curvatura dello specchio, ma anche a risolvere due altri problemi, cioè a sapere quanto dista l'oggetto dallo specchio se sono indicati i valori del raggio di curvatura della distanza dell' imagine, oppure a determinare il raggio di curvatura quando sono note le altre due quantità. 2.° Le due formole non sono rigorosamente esatte, perchè dipendono dall'ipotesi che le rette LM ed lM siano rispettivamente eguali alle rette LA ed lA; il che è vero solo quando l'angolo MCA è nullo. Esse non sono che approssimative, e tanto più si avvicinano all'esattezza quanto minore è il suddetto angolo, ossia quanto più piccola è l'apertura dello specchio.

438. **Aberrazione di sfericità per riflessione.** Nell'esporre la teoria intorno ai fuochi ed alle imagini formate dagli specchi sferici, abbiamo supposto che l'apertura dello specchio non avesse da sorpassare i sei o gli otto gradi. Quando non si verifichi tale condizione l' imagine cessa di essere distinta. Questo fatto, a cui si dà il nome di *aberrazione di sfericità per rifles-*

sione, dipende da ciò che negli specchi sferici il luogo di concorso dei raggi riflessi non è mai un punto, ma è una serie di punti, situati lungo l'asse e intorno al medesimo. Nel caso di una piccola apertura nello specchio, lo spazio da loro occupato è piccolissimo, ed il fenomeno non è sensibile; ma quando l'apertura dello specchio è notevole, i raggi riflessi in punti lontani dal centro di figura incontrano l'asse più dappresso allo specchio che non gli altri, ed in seguito, divergendo, gettano una luce estranea sul diaframma posto al fuoco di questi ultimi raggi. Per esempio, l'imagine di una fiamma che si formi nel fuoco principale di uno specchio concavo a grande apertura, è circondata da una aureola luminosa, che impedisce di scorgerla distintamente. Ma se per mezzo di un diaframma forato nel centro si intercettano i raggi riflessi dalle parti più vicine all'orlo dello specchio, l'imagine, che prima era confusa, diviene tanto più distinta quanto è minore l'apertura centrale del diaframma. Se, al contrario, con un piccolo diaframma circolare, si impedisce ai raggi centrali di arrivare fino all'imagine, questa diventa più confusa, e fa d'uopo avvicinare il diaframma allo specchio ond'essa acquisti la chiarezza. Si distingue l'aberrazione *di longitudine* e *di latitudine;* la prima è la lunghezza della porzione dell'asse in cui s'incrocicchiano i raggi riflessi; e la seconda è il diametro del più ristretto cerchietto, normale all'asse, nel quale si incontrano i raggi presso il fuoco.

Catacaustica o *caustica per riflessione.* Quando i raggi luminosi, emessi da un punto L (fig. 398), si riflettono sopra una superficie curva AB, si può sempre tracciare su questa superficie un primo sistema di curve, dette *linee di riflessione,* tali che i raggi infinitamente vicini, riflessi su una di queste curve, a due a due s'incontrano direttamente o nei loro prolungamenti. Ognuna di queste curve produce così nello spazio una linea brillante MF, la quale è la serie dei punti d'intersezione dei raggi riflessi dalla curva stessa. L'insieme di queste linee, prodotte dalle diverse curve che formano il sistema, costituisce una superficie brillante, che si chiama *superficie caustica per riflessione,* o *catacaustica.* La natura della catacaustica dipende dalla forma della superficie riflettente e dalla direzione dei raggi incidenti. Il fondo di un vaso di porcellana, convenientemente illuminato, presenta il fenomeno della catacaustica in modo aggradevole.

Fig. 398.

439. Specchi parabolici. Se lo specchio concavo fosse una calotta non di una sfera ma di un paraboloide, l'aberrazione non avrebbe luogo, qualunque ne fosse l'apertura; tutti i raggi incidenti paralleli all'asse della parabola generatrice dello specchio, dopo la riflessione andrebbero a radunarsi nel fuoco della curva stessa; e tutti i raggi partenti da un corpo luminoso collocato in questo punto, e riflessi dallo specchio, si propagherebbero in direzioni esattamente parallele. Questa proprietà degli specchi parabolici dipende da una proprietà matematica della parabola, per cui il raggio vettore di un punto e la retta che parallela all'asse passa per questo punto, formano angoli eguali colla tangente alla curva nel punto stesso. Gli specchi parabolici sono pertanto adoperati come *riflettori*, e come tali applicati dietro alle lampade delle carrozze, od alla fiamma della lucerna nei fari detti a *riflessione*, ecc., onde la luce riflessa percorra grandi distanze senza perdere sensibilmente d'intensità. Segando due specchi parabolici eguali con un piano che perpendicolare all'asse passi pel fuoco, ed unendo poscia i due specchi per le due sezioni fatte, in modo che i fuochi coincidano, si ottiene un sistema di riflettori, col quale una sola fiamma illumina contemporaneamente in due opposte direzioni.

440. Specchi cilindrici e conici convessi — anamorfosi. Gli specchi piani danno un'imagine identica all'oggetto; gli sferici la ingrandiscono o la impiccoliscono, sempre però conservandogli un rapporto di similitudine coll'oggetto; ma gli specchi cilindrici e conici spesse volte sformano talmente le imagini, che non vi ha più tra loro e l'oggetto alcun indizio di somiglianza. Se ci poniamo dinanzi ad uno specchio cilindrico verticale, vediamo l'imagine del nostro volto stranamente assottigliata; ed al contrario se lo specchio è collocato orizzontalmente, la medesima imagine appare schiacciata. Lo stesso avviene di qualunque altro oggetto posto dirimpetto allo specchio in quelle due posizioni differenti. Lo specchio cilindrico nel senso dell'altezza è piano, e nel senso della larghezza è convesso; quindi l'imagine secondo l'altezza è eguale all'oggetto, mentre è più piccola di esso nel senso della larghezza; e per conseguenza sembra assottigliata o schiacciata secondo la posizione del cilindro. Negli specchi conici convessi l'imagine conserva sempre la sua grandezza nel senso degli spigoli, ma si restringe nel senso trasversale, e tanto più quanto più vicini al vertice sono i punti dai quali sono riflessi i raggi luminosi; in modo che l'imagine assume una forma piramidale. È chiaro che, se in siffatti specchi le imagini degli oggetti bene proporzionati appajono sformate, quelle di oggetti

deformi in un rapporto opportuno appariranno con proporzioni perfette. Da questo principio dipendono i giochi di *anamorfosi*. Le anamorfosi sono disegni sformati (fig. 399) secondo una regola, i quali quando si osservano direttamente sembrano tratti bizzarri e confusi, ma visti per riflessione in uno specchio cilindrico o conico, presentano un'imagine regolare.

Fig. 399.

441. **Specchi a superficie multiple — a superficie diverse.** Negli specchi formati da tante superficie convesse o concave eguali, riunite assieme, si hanno tante imagini quanti sono gli specchi, perchè la riflessione della luce avviene partitamente su ciascuna di esse. Unendo insieme superficie diverse, concave o convesse, si avranno tante imagini quante sono gli specchi, ma le une differenti dalle altre. Parimenti si avranno imagini grandi quanto l'oggetto, più piccole e più grandi, simili, od anche sformate, riunendo insieme specchi piani, sferici, cilindrici, ecc.

ARTICOLO QUARTO

RIFRAZIONE DELLA LUCE.

442. **Rifrazione della luce — sue leggi.** Quando i raggi luminosi passano obliquamente da un mezzo ad un altro di natura diversa, allo stesso modo dei raggi sonori, deviano sensibilmente dalla direzione primitiva. Questo fenomeno è distinto col nome di *rifrazione della luce.* Quando l'angolo di rifrazione BOH (fig 400) è minore dell'angolo d'incidenza AOS, si dice che il mezzo, nel quale il raggio luminoso penetra, è più rifrangente del mezzo dal quale proviene; e viceversa, nel caso contrario si dice che quest'ultimo è più rifrangente del primo. La parola *angolo di rifrazione*, come pure l'altra — *raggio rifratto*, ha qui lo stesso significato che gli abbiamo attribuito nel trattato del suono.

Fig. 400.

In generale di due corpi il più rifrangente è il più denso. Ma vi sono delle eccezioni, specialmente pei corpi che poco diffe-

riscono nella densità. La rifrazione della luce, come quella del suono, nel sistema d'ondulazione si spiega allo stesso modo del moto rifratto (243). Le leggi della rifrazione, dette *leggi di Cartesio,* perchè da lui formolate, sebbene scoperte dall'olandese Snellius, sono le due seguenti, identiche a quelle della rifrazione del suono. 1.° Il rapporto dei seni degli angoli d'incidenza e di rifrazione è costante per gli stessi mezzi; e 2.° il raggio incidente ed il raggio rifratto sono in un medesimo piano perpendicolare alla superficie dividente i due mezzi. Alla verificazione di queste leggi si adopera lo stesso apparato che ha servito a dimostrare quelle della riflessione, sostituendo però allo specchio piano, messo al centro del circolo graduato, un vaso semicilindrico di vetro O (fig. 401), pieno d'acqua, in modo che la superficie superiore del liquido (che dev'essere la piana) si trovi esattamente all'altezza del centro del circolo. Allora facendo rotare lo specchio M in modo da riflettere verso il centro un fascetto luminoso MO, questo si rifrange al suo ingresso nell'acqua, ma non all'escita, perchè qui la sua direzione è perpendicolare alla parete curva del vaso. Il fascio rifratto OP viene ricevuto sopra un diaframma P, che si sposta fino a tanto che l'imagine dell'apertura praticata nel diaframma N venga a formarsi al centro. Finalmente, in tutte le posizioni dei diaframmi N e P i seni dell'angolo d'incidenza MOA e dell'angolo di rifrazione DOP sono misurati da due regoli mobili I ed R, divisi in millimetri, ed equilibrati in modo da rimanere costantemente orizzontali, cioè perpendicolari al diametro AD. I numeri che rappresentano la lunghezza dei seni degli angoli MOA e DOP nelle diverse esperienze variano colla posizione dei diaframmi, ma in rapporto costante; cioè se il seno dell'angolo d'incidenza diventa doppio o triplo, altrettanto avviene del seno dell'angolo di rifrazione; il che dimostra la prima legge. La disposizione poi dello strumento persuade la verità della seconda legge; perchè il piano del circolo graduato è perpendicolare alla superficie del liquido contenuto nel vaso semicilindrico.

Fig. 401.

Indice di rifrazione. Il rapporto fra i seni degli angoli d'incidenza e di rifrazione, si chiama *indice di rifrazione.* Rappresen-

tando con n questo indice, e con i ed r gli angoli d'incidenza e di rifrazione, si ha $n = \frac{\text{Sen. } i}{\text{Sen. } r}$. Questo rapporto è costante per gli stessi mezzi, qualunque sia la grandezza degli angoli fatti dai raggi incidente e rifratto colla normale; ma varia al variare dei mezzi. L'indice di rifrazione nel passaggio della luce dall'aria all'acqua è $^4/_3$, dall'aria al vetro $^3/_2$. Si avrebbe l'indice di rifrazione assoluta di una sostanza quando la luce, invece di arrivare in essa dall'aria, provenisse dal vuoto. Siccome però i gas sono pochissimo rifrangenti, l'indice di rifrazione assoluta differisce assai poco dall'indice di rifrazione computato relativamente all'aria.

Se si considerano i mezzi in ordine inverso, cioè se si osserva il passaggio della luce dall'acqua nell'aria, si trova ch'essa segue lo stesso cammino, ma in verso contrario, perchè PO diventa il raggio incidente, ed OM il rifratto. Questo risultato è un caso particolare di una legge più generale che si può enunciare così: *la luce che attraversa un sistema di corpi trasparenti segue sempre la stessa strada qualunque sia il verso in cui si propaga.* Per conseguenza il rapporto che rappresenta in questo caso l'indice di rifrazione è esso pure invertito, ossia è $^3/_4$ dall'acqua all'aria, e $^2/_3$ dal vetro all'aria.

445. **Effetti della rifrazione.** Dalla rifrazione dipendono molti curiosi fenomeni, che gli possono servire di prova. È un fatto che i corpi immersi in un mezzo più rifrangente dell'aria sembrano avvicinati alla superficie, ed al contrario sembrerebbero allontanati quando fossero posti in un mezzo meno rifrangente. Si consideri, per esempio, un oggetto L (fig. 402), collocato in una massa d'acqua. I raggi LA, LB, passando dall'acqua nell'aria si allontanano dalla normale, alla superficie nel punto d'incidenza, e le nuove direzioni possono essere espresse dalle rette AC, BD, i cui prolungamenti concorrono nel punto L′, situato sulla perpendicolare LK. L'occhio che riceve questi raggi vede adunque l'oggetto L in L′. Quanto più obliqui sono i raggi LA, LB, tanto più l'oggetto sembra rialzato. Una moneta, collocata sul fondo di un vaso opaco riempito d'acqua diviene visibile a coloro che vi fossero intorno disposti in modo da essere prossimi a vederla, senza poterlo fare, quando il vaso è vuoto. Per la stessa ragione le acque dei fiumi e degli stagni, che sono abbastanza limpide da lasciar vedere il fondo, sembrano meno profonde di quel che

Fig. 402.

sono; ed un oggetto totalmente immerso in un vaso pieno d'acqua appare maggiore del vero; e si mostra invece spezzato se pesca

Fig. 403.

in parte nel liquido e in parte si trova nell'aria. Così un bastone immerso parzialmente nell'acqua pare composto di due parti unite ad angolo nella superficie del liquido (fig. 403); perchè tutta la parte sommersa sembra rialzata.

Una cosa che facilmente s'intende è che la rifrazione mentre sposta in apparenza gli oggetti, deve altresì sfigurarli, giacchè i raggi luminosi, arrivano alla superficie di separazione dei due mezzi con obliquità generalmente diverse, e quindi sono diversamente rifratti. Per questo avviene che il bastone immerso nell'acqua non sembra soltanto scavezzo, ma anche accorciato e leggermente curvato; ed una palla deposta al fondo d'un vaso pieno d'acqua pare schiacciata. Quando pertanto dalla riva di un'acqua guardiamo i ciottoli, e gli altri oggetti che si trovano sul fondo, o i pesci, che vanno guizzando qua e là, noi non li vediamo nel luogo dove sono, ma in un altro più o men lontano da questo, e sotto una forma più o meno diversa da quella che hanno realmente. I pescatori pertanto volendo colpire colla fiocina un pesce, non indirizzano già il colpo al luogo dove esso appare, ma alquanto più basso.

Che se tutta la terra fosse circondata da uno strato di acqua, alto un metro circa, sicchè noi non vedessimo parte alcuna della superficie terrestre che attraverso all'acqua, ben si potrebbe dire che a nessun punto della superficie medesima il nostro occhio assegnerebbe il suo vero sito o la sua vera figura. E se quello strato d'acqua fosse alto parecchi metri, noi vedremmo gli astri e tutti i corpi luminosi od illuminati esterni alla terra in un posto dove realmente non vi sarebbero. Ma se la terra non è circondata da uno strato d'acqua, lo è da uno strato altissimo d'aria, sufficiente a produrre una deviazione sensibilissima nei raggi luminosi che ci provengono dagli oggetti esterni. L'atmosfera si può supporre composta da varj strati sferici concentrici, nei quali, partendo dalla terra, la densità decresce progressivamente. Quindi un raggio SA (fig. 404), che si spicca dall'astro S, passando dal vuoto nel primo strato dell'atmosfera, deve avvicinarsi alla normale; penetrando nel secondo strato più denso del primo, devia nuovamente nel medesimo senso dal suo primiero cammino; e così di seguito

Fig. 404.

subisce una serie di successive deviazioni in un verso unico, onde, in cambio di una retta, descrive una linea spezzata che, attesa la spessezza infinitesima dei successivi strati dell'atmosfera, si confonde con una curva. Pertanto l'osservatore, che trovasi nel punto A, vede l'astro in S′ e non in S.

Una siffatta deviazione prodotta da tutta l'atmosfera in un raggio luminoso emesso da un corpo esterno ad essa, è eguale a quella medesima che il raggio luminoso soffrirebbe qualora passasse direttamente dal vuoto nello strato atmosferico in cui trovasi l'osservatore. Quindi, per determinare la rifrazione che provano i raggi luminosi provenienti dagli astri, basta conoscere lo stato dell'aria nel luogo dell'osservazione. Questa rifrazione aumenta coll'obliquità dei raggi; e come fa comparire più elevati gli astri che sono sopra l'orizzonte, così rende anche visibili quelli che ne sono un poco al dissotto. Essa però non ha luogo quando l'astro si trova sulla verticale dell'osservatore. A quel modo poi che una palla sott'acqua apparisce depressa, il sole e la luna, quando sono vicini all'orizzonte, non offrono più la solita figura di un disco circolare, ma appajono più larghi che alti, perchè la rifrazione alza ai nostri occhi l'orlo inferiore dell'astro più dell'orlo superiore, e perciò il diametro verticale s'accorcia.

Anche gli oggetti terrestri molto elevati, come le sommità delle montagne, sembrano più alti di quello che sono. Imperocchè i raggi che da un oggetto eminente arrivano all'osservatore collocato in basso, penetrando negli strati d'aria più densa, si rifrangono accostandosi alla normale, onde l'osservatore riferisce quell'oggetto ad un punto più elevato sull'orizzonte. Una siffatta rifrazione, detta *terrestre*, è soggetta a tante variazioni accidentali; e di essa bisogna tener conto nelle misure geodetiche delle altezze.

444. **Angolo limite — riflessione totale.** Quando l'angolo d'incidenza cresce, anche quello di rifrazione aumenta nel medesimo rapporto. Quindi se un raggio luminoso SO (fig. 405) passa da un mezzo ad un altro meno rifrangente, sicchè l'angolo di rifrazione sia maggiore di quello d'incidenza, è evidente che ad un determinato angolo acuto POB d'incidenza corrisponderà un angolo di rifrazione BOR retto. Il raggio rifratto in questo caso dovrà lambire la superficie di separazione dei due mezzi; e dopo questo grado di obliquità, se vogliamo supporre che il raggio in-

Fig. 405.

cidente diventi ancora più obliquo è palese che tutti i raggi che arrivano alla superficie medesima non potranno uscire dal primo mezzo, ma dovranno qui riflettersi totalmente. L'angolo d'incidenza POB, corrispondente all'angolo di rifrazione retto, dicesi *angolo limite*. Pel diamante l'angolo limite è di circa 24°; pel flint-glass è di 38°, 41′; pel crown-glass è di 40°, 31′, pel vetro è di 41°, 48′, e per l'acqua è di 48°, 28′, supposto che il raggio luminoso passi da questi corpi all'aria.

Si può verificare l'effetto della riflessione totale collocando fra l'occhio di un osservatore ed un oggetto luminoso A (fig. 406) un vaso trasparente, pieno d'acqua. I raggi di luce, emessi dall'oggetto A nella direzione Am, se hanno obliquità sufficiente, si riflettono totalmente in m, dirigendosi verso l'occhio dell'osservatore, il quale vede in a l'immagine di A. L'esperienza riesce meglio adoperando un prisma triangolare rettangolo isoscele, oppure un tronco di cilindro, la cui sezione obliqua sia inclinata di 45° sull'altra (fig. 407). Se coperta la superficie laterale con una carta nera, si presenta al sole la sezione retta, e si applica l'occhio alla sezione obliqua, non si riceve alcun raggio di luce solare; perchè tutti i raggi luminosi, cadendo sulla sezione obliqua sotto una incidenza di circa 45°, si riflettono totalmente nell'interno del tronco di cilindro.

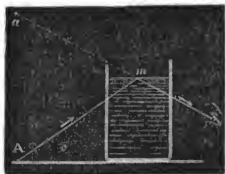
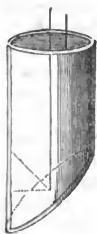



Fig. 406.

Fig. 407.

Un'altra esperienza molto curiosa, che dipende da una riflessione totale, è quella nella quale un fascio di luce si piega in arco di parabola con meraviglioso effetto. Si riempie di acqua un alto vaso, presso il fondo del quale sono praticati, alla medesima altezza nelle pareti opposte, due fori, l'uno chiuso da una lamina di vetro fissa, e l'altro da una mobile, in modo che può essere aperta ad arbitrio dell'esperimentatore. Questo vaso viene collocato in una camera oscura, nella quale si fa entrare un fascio orizzontale di raggi solari, che vada a cadere perpendicolarmente sulla lamina di vetro fissa. Quando l'altro foro è chiuso, i raggi solari attraversano in linea retta i due vetri ed il liquido del vaso, e producono un'imagine luminosa nella medesima direzione. Ma quando, tolta la lamina di vetro mobile, succede l'efflusso dell'acqua, il fascio di luce abbandona la

via rettilinea per piegarsi col getto dell'acqua, e va in linea curva ad illuminare il fondo di un secondo vaso, in cui si raccoglie l'acqua che sorte dal primo. Imperocchè ogni raggio luminoso arriva alla superficie della vena liquida sotto un angolo d'incidenza maggiore dell'angolo limite, e quindi si riflette totalmente nell'interno del getto.

445. **Miraggio**. Il miraggio è una illusione ottica che fa vedere al dissotto del suolo o nell'atmosfera l'imagine rovesciata o diritta degli oggetti lontani. Questo fenomeno avviene in grande e di frequente nei paesi caldi, e particolarmente nelle sabbiose pianure dell'Egitto, dove il suolo presenta spesso l'aspetto di un lago tranquillo, che riflette gli alberi ed i villaggi circostanti. Fu questo uno spettacolo meraviglioso ed una illusione crudele per l'armata francese nella spedizione in Egitto, quando arsa dalla sete, correva verso le sponde di un lago apparente non molto lontano, che rifletteva le palme circostanti e la volta dei cieli, e quelle sponde camminavano davanti ad essa con eguale velocità. L'apparenza non era che l'effetto di una riflessione totale, che avveniva nell'aria vicina alla terra. Gli strati atmosferici, pel loro contatto col suolo molto riscaldato, acquistano densità diverse che crescono colla distanza dal suolo fino ad un certo punto, da cui diminuiscono secondo le leggi ordinarie della costituzione atmosferica. Pertanto i raggi luminosi che, per esempio, partono da un albero (fig. 408),

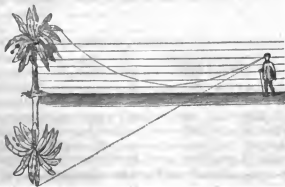



Fig. 408.

dirigendosi verso il suolo, attraversano strati d'aria sempre meno rifrangenti, e quindi si allontanano costantemente dalla verticale, in modo che il loro angolo d'incidenza cresce da uno

strato al seguente, e prima di toccare la terra raggiunge il limite della rifrazione. A questo punto, quei raggi luminosi, riflettendosi totalmente, si rialzano e subiscono una serie di rifrazioni successive in verso contrario, perchè passano per strati sempre più rifrangenti. Così essi descrivono una curva, perchè le densità degli strati aerei cambiano progressivamente ed arrivano all'occhio dell'osservatore, posto ad una determinata distanza, con quella direzione che avrebbero se fossero partiti da un altro albero simmetrico, rispetto alla superficie del suolo, a quello da cui attualmente provengono, cioè gli presentano un'imagine rovesciata dell'albero quale sarebbe, se tra lui ed il medesimo vi fosse la superficie di un'acqua tranquilla che riflettesse i raggi luminosi partiti dall'albero.

Lo stesso effetto, ma in verso contrario, può avvenire quando gli strati inferiori sieno più densi dei superiori. Così talvolta i navigatori osservano nell'atmosfera l'imagine rovesciata delle spiaggie o delle navi lontane. Ciò avviene quando la temperatura del mare è inferiore a quella dell'aria, perchè allora gli strati più bassi dell'atmosfera sono più densi dei superiori, a motivo del loro contatto colla superficie delle acque. In generale poi, siccome la superficie di separazione delle masse aeree di diversa densità possono avere differenti posizioni rispetto all'orizzonte, così il miraggio si può presentare in differenti modi. Sul lago di Ginevra, per esempio, fu osservato un bellissimo miraggio laterale. Una barca, veleggiava sul lago, e la sua imagine l'accompagnava come se quella passasse davanti ad uno specchio. Nell'estate anche nei nostri paesi avviene una specie di miraggio quando sotto gli ardenti raggi del sole gli oggetti lontani sembrano leggermente traballare. Questo fenomeno dipende da ciò che gli strati inferiori dell'aria partecipano per contatto all'alta temperatura del suolo, e si stabiliscono numerose correnti con più o meno di regolarità, per cui ne risulta nell'aria un tremore ondulatorio, sensibilissimo all'occhio: i raggi luminosi provenienti dagli oggetti lontani si rifrangono diversamente in ogni istante, e quindi le loro imagini sembrano tagliarsi e ricomporsi, ossia appajono mal definite e traballanti.

446. **Propagazione della luce attraverso a corpi diafani terminati da superficie piane parallele.** Studiato il fenomeno della rifrazione in generale, dobbiamo ora esaminare le particolarità che presenta al variare dei mezzi rifrangenti. Questi possono essere terminati da superficie piane o curve; epperò dobbiamo studiare il fenomeno nell'una e nell'altra circostanza.

Le superficie piane dei mezzi diafani rifrangenti possono avere due posizioni rispettive principali, essere cioè fra loro parallele, oppure inclinate. Esaminiamo il primo caso. Sia MN (fig. 409) un mezzo diafano, più rifrangente dell'aria, a due facce parallele, e supponiamo che venga attraversato da un raggio di luce SD. Il raggio di luce SA, in A, entrando in un mezzo più rifrangente, si avvicina alla normale GI, e si propaga secondo la direzione AB. Il raggio AB, passando nuovamente nell'aria, si allontana dalla perpendicolare KE, e piglia la direzione BD. Un raggio luminoso pertanto che attraversi un mezzo diafano, terminato da facce piane e parallele, soffre due rifrazioni, la prima all'ingresso e la seconda all'escita dal mezzo; ma l'una è eguale e contraria all'altra, ossia il raggio rifratto all'emergenza dal vetro tanto si allontana dalla perpendicolare, quanto il raggio rifratto all'ingresso nel vetro si avvicinò alla medesima retta, di modo che il raggio emergente è parallelo al raggio incidente. In fatti chiamando x ed y gli angoli GAS, IAB, ed r, s gli angoli KBA, EBD, $\frac{\text{Sen. } x}{\text{Sen. } y}$ è l'indice di rifrazione dall'aria al vetro, e $\frac{\text{Sen. } r}{\text{Sen. } s}$ è l'indice di rifrazione dal vetro all'aria; ma l'indice di rifrazione dal vetro all'aria è inverso dell'indice di rifrazione dall'aria al vetro, quindi capovolgendo i termini della frazione $\frac{\text{Sen. } r}{\text{Sen. } s}$, avremo un rapporto eguale all'altra frazione, ossia avremo $\frac{\text{Sen. } x}{\text{Sen. } y} = \frac{\text{Sen. } s}{\text{Sen. } r}$. Gli angoli y ed ed r sono eguali perchè alterni interni in ordine alle due rette GI, KE parallele, tagliate da una terza AB. Per ciò i denominatori delle due frazioni sono eguali, giacchè gli angoli eguali hanno seni eguali; quindi lo stesso rapporto di eguaglianza deve verificarsi anche fra i numeratori. Essendo Sen. x = Sen. s, sarà $x = s$; e per conseguenza SA parallelo a BD, perchè GI è parallelo a KE.

Fig. 409.

447. Propagazione della luce attraverso a corpi diafani terminati da superficie piane inclinate — prismi. Consideriamo ora il secondo caso, in cui il mezzo attraversato dalla luce abbia due facce inclinate fra loro. Un tal mezzo in ottica è chiamato *prisma;* e l'intersezione delle due facce inclinate, che è una linea retta, dicesi *spigolo del prisma,* mentre l'angolo da esse compreso si chiama *angolo rifrangente*

del prisma. Ogni sezione perpendicolare allo spigolo del prisma dicesi *sezione principale*. D'ordinario per le esperienze si adoperano dei prismi triangolari retti di vetro; epperò la loro sezione principale è un triangolo. In questa sezione il punto A (fig. 410) chiamasi *vertice del prisma*, e la retta BC *base* del medesimo; le quali espressioni, geometricamente parlando, si possono applicare soltanto al triangolo ABC e non al prisma.

La luce nel passaggio di un prisma è deviata due volte nel medesimo verso. Infatti il raggio LI, penetrando al punto I nel prisma, che supponiamo di vetro, ossia passando da un mezzo ad un altro più rifrangente, si avvicina alla perpendicolare IN, e cammina nel prisma secondo la direzione IE. Al punto E, nell'uscita dal prisma, arriva ad un mezzo meno rifrangente del vetro, e scostandosi dalla perpendicolare EM, si abbassa nuovamente. Dunque il raggio luminoso nel passaggio del prisma si rifrange due volte: all'ingresso ed all'emergenza dal prisma, costantemente in un senso unico, cioè verso la base.

Imagini date dai prismi. Per questo le imagini degli oggetti osservati con un prisma appajono portate verso il vertice del prisma medesimo. Un osservatore in l (fig. 411) che riceva i raggi del punto f, attraverso il prisma aSa', vede l'imagine di questo punto in e.

Angolo di deviazione. L'imagine è elevata al dissopra dell'oggetto, ossia il raggio luminoso è deviato dalla sua primitiva direzione di un angolo eguale alla somma delle due differenze fra gli angoli d'incidenza e di rifrazione all'ingresso ed all'emergenza, ossia ad $i - r + i' - r'$ (fig. 410). Ma $i - r + i' - r'$,

Fig. 410.

Fig. 411.

somma di due angoli interni del triangolo dIE, eguaglia l'angolo esterno opposto, ossia d. Questo angolo pertanto misura la deviazione del raggio luminoso nel passaggio del prisma, e si chiama ***angolo di deviazione***. L'angolo di deviazione adunque è quello formato dai prolungamenti dei raggi incidente ed emer-

gente, ed esterno al triangolo determinato dai medesimi prolungamenti e dalla direzione del raggio luminoso nel prisma.

Deviazione minima. Quando in una camera oscura si riceve sopra un diaframma il fascio luminoso emergente da un prisma verticale, posto vicino al foro (fig. 412), si osserva che facendo girare il prisma intorno all'asse, in modo che cambi l'inclinazione del fascio incidente AB sulla faccia del prisma medesimo, l'imagine del foro si sposta sul diaframma, accostandosi od allontanandosi dalla direzione AC. Fra tutte le posizioni del prisma se ne trova facilmente una che corrisponde al massimo avvicinamento dell'imagine luminosa a C, ossia alla minima deviazione CAE. Il calcolo e l'esperienza dimostrano che questa minima deviazione ha luogo quando il raggio incidente ed il raggio emergente sono egualmente inclinati sulle facce rispettive del prisma, ossia quando il primo angolo d'incidenza eguaglia il secondo angolo di rifrazione.

Fig. 412.

Ciò serve a calcolare l'angolo di deviazione minima, quando si conoscano il primo angolo d'incidenza e l'angolo rifrangente del prisma. Di fatti gli angoli A ed EPK (fig. 410) sono eguali, perchè hanno i lati rispettivamente perpendicolari. L'angolo EPK, come esterno al triangolo FEP, eguaglia la somma degli interni opposti, ossia è $EPK = r + i'$; quindi sarà anche $A = r + i'$.

Ma dal principio accennato si ha $i = r'$; quindi sarà anche $r = i'$, perchè l'indice di rifrazione dall'aria al vetro è inverso dell'indice di rifrazione dal vetro all'aria; e per conseguenza $A = 2r$.

Se ora si considera essere $d = i - r + r' - i'$, ossia $d = i + r' - (r + i')$, non si avrà difficoltà ad ammettere $d = 2i - 2r$; e per conseguenza $d = 2i - A$; cioè l'angolo di deviazione minima eguaglia l'eccesso del doppio del primo angolo d'incidenza sopra l'angolo rifrangente del prisma.

448. Misura dell'indice di rifrazione. Questa proprietà dell'angolo di deviazione minima serve a determinare l'indice

di rifrazione delle varie sostanze, che importa moltissimo conoscere in varie esperienze e specialmente nella costruzione degli strumenti d'ottica. Infatti dalle equazioni $A = 2r$, e $d = 2i - A$, si deducono i valori di r ed i, cioè $i = \frac{+ d A}{2}$, ed $r = \frac{A}{2}$; e quindi essendo l'indice di rifrazione $n = \frac{\text{Sen. } i}{\text{Sen. } r}$, avremo $n = \frac{\text{Sen.} \left(\frac{d + A}{2}\right)}{\text{Sen.} \frac{A}{2}}$.

Dato l'angolo A, l'angolo d può essere conosciuto nel modo seguente. Si riceve sul prisma un raggio IL (fig. 413) inviato da un oggetto lontano, e si fa rotare il prisma in modo da ottenere la deviazione minima. Allora con un grafometro a cannocchiale si osserva il numero di gradi dell'angolo EDL′, che il raggio rifratto DE fa col raggio DL′ emesso direttamente dall'oggetto luminoso: la misura di quest'angolo rappresenta quella dell'angolo di deviazione minima; perchè, supposto che l'oggetto sia abbastanza lontano onde i raggi LI, L′D sieno paralleli fra loro, l'angolo di deviazione è eguale all'angolo EDL′, di cui è alterno.

Fig. 413.

Lo stesso metodo, dovuto a Newton, giova a trovare l'indice di rifrazione di qualunque corpo solido trasparente, di cui si possa formare un prisma. Ma con altri metodi si misura anche l'indice delle sostanze non trasparenti, fondandosi sulla proprietà dell'angolo limite e della riflessione totale.

Più tardi il metodo di Newton si applicò pure alla misura dell'indice di rifrazione dei liquidi e dei gas. A questo scopo basta introdurre questi fluidi in un tubo rettilineo chiuso alle estremità da due lastre di vetro esattamente parallele. I sistemi delle due lastre sono inclinate tra loro sotto un angolo determinato. La luce che passa per essi devia come in un prisma del fluido contenutovi, giacchè, come abbiam osservato, le due lastre di vetro a facce parallele non producono deviazione alcuna. Non ci occupiamo direttamente di queste ricerche, perchè oltrepassano i limiti che ci siamo imposti, ma esponiamo qui in una tavola i risultati principali ottenuti.

TAVOLA DEGLI INDICI DI RIFRAZIONE DI ALCUNE SOSTANZE.

Nome del corpo	Valore dell'indice di rifrazione	Nome del corpo	Valore dell'indice di rifrazione
Indici di rifrazione di corpi solidi.			
Cromato di piombo	da 2,50 a 2,97	Zuccaro	1,535
Diamante	da 2,47 a 2,75	Acido fosforico	1,544
Fosforo	2,224	Solfato di rame	da 1,531 a 552
Vetro d'antimonio	2,216	Balsamo del Canadà	1,532
Solfo nativo	2,115	Acido citrico	1,527
Giargone	1,95	Nitro	1,514
Borato di piombo	1,866	Spermaceti	1,503
Carbonato di piombo	da 1,81 a 2,08	Crown-glass	1,500
Rubino	1,779	Solfato di potassa	1,509
Feldspato	1,764	» di ferro	1,494
Tormalina	1,668	Sego e cera	1,492
Topazio incoloro	1,610	Solfato di magnesia	1,488
Berillo	1,598	Spato d'Islanda	1,654
Guscio di tartaruga	1,591	Ossidiana	1,488
Smeraldo	1,585	Gomma	1,476
Flint-glass	da 1,57 a 1,58	Borace	1,475
Cristallo di rocca	1,547	Allume	1,457
Salgemma	1,545	Fluoruro di calce	1,436
Colofonia	1,543	Ghiaccio	1,310
Indici di rifrazione di corpi liquidi.			
Solfuro di carbonio	1,678	Soluzione di potassa (densità 1,416)	1,405
Sugo d'acacia	1,631	Acido cloridrico (concentrato)	1,410
Olio essenziale di mandorle amare	1,603	Soluzione di sal marino (satura)	1,575
» di noce	1,50	Alcool rettificato	1,372
» di lino	1,485	Etere solforico	1,358
» di nafta	1,475	Soluz. d'allume (satura)	1,356
» di seme di rape	1,475	Sangue umano	1,354
» d'olivo	1,470	Albumina	1,351
» di trementina	1,470	Cristallino	1,384
» di mandorla	1,469	Saliva	1,339
» di spico	1,457	Umore vitreo	1,339
Acido solforico (densità 1,7)	1,429	Umore acqueo	1,337
» nitrico (densità 1,48)	1,410	Acqua	1,336
Indici di rifrazione di corpi gasosi.			
Cianogeno	1,000834	Acido carbonico	1,000449
Cloro	1,000772	Azoto	1,000300
Bicarburo d'idrogeno	1,000678	Aria atmosferica	1,000294
Acido solforoso	1,000665	Ossigeno	1,000272
» solfidrico	1,000644	Idrogeno	1,000138
Protossido d'azoto	1,000503		

L' indice di rifrazione dei gas è sempre piccolissimo in ordine a quello dei solidi e dei liquidi, e per uno stesso gas la *potenza rifrattiva*, ossia il quadrato dell' indice di rifrazione diminuito di una unità, è proporzionale alla densità. Il quoziente poi della potenza rifrattiva per la densità si chiama *potere rifrangente*.

449. **Condizioni d'emergenza dei raggi luminosi da un prisma**. Se il prisma è meno rifrangente del mezzo circostante, i raggi luminosi che arrivano ad esso sotto un angolo maggiore dell'angolo limite del medesimo mezzo rispetto al prisma non vi potranno penetrare. Ma se l'ordine della rifrangibilità è inverso, la luce entrerà nel prisma qualunque sia l'angolo d'incidenza, ma non sempre potrà uscire dalla faccia opposta a quella che gli permise l'ingresso. Ciò avverrà appena quando l' angolo d' incidenza sopra la seconda faccia non sia maggiore dell' angolo limite della materia del prisma relativamente al mezzo esterno, ossia quando l'angolo rifrangente del prisma sia minore del doppio dell'angolo limite suddetto. Infatti il raggio luminoso non può emergere dalla seconda faccia del prisma se l' angolo d'incidenza i' non è minore dell'angolo limite; perchè quando questi angoli fossero eguali esso lambirebbe la superficie EC, e si rifletterebbe totalmente nell'interno se il primo angolo eccedesse il secondo. Ma aumentando l' angolo d' incidenza i, altrettanto avviene dell'angolo di rifrazione r, ed invece l'angolo d'incidenza i' decresce; perchè rimanendo costante l'angolo IPE, che è formato dalle due perpendicolari, le quali mantengono sempre la stessa reciproca direzione, e ingrandendo l'angolo r, onde nel triangolo PIE la somma degli angoli sia costantemente eguale a due retti è necessario che i' diminuisca. Se diminuisce i', l'emergenza del raggio luminoso dalla seconda faccia è favorita. Per conseguenza, quanto più la direzione del raggio LI è prossima ad essere parallela alla faccia AB, tanto più facilmente questo raggio potrà emergere dalla seconda faccia.

Suppongasi pertanto che il raggio LI sia parallelo ad AB; allora r è eguale all'angolo limite del prisma, cioè ha il massimo valore. Se $r = l$, essendo $A = r + i'$, come abbiamo già dimostrato, avremo $A = l + i'$. Per conseguenza se è $A = 2l$, avremo $2l = l + i'$, ossia $i' = 2l - l = l$, cioè se l' angolo rifrangente A è eguale al doppio dell'angolo limite, l'angolo d'incidenza alla seconda faccia eguaglia l'angolo limite; ossia il fenomeno della rifrazione cessa. Parimenti se fosse $A > 2l$, sarebbe anche $i' > l$, l'angolo d'incidenza sarebbe maggiore dell'angolo limite, e non potrebbe avvenire l'emergenza dalla seconda faccia.

A più forte ragione sarà impossibile l'emergenza dalla seconda faccia quando i raggi incidenti non sieno paralleli ad AB; perchè se ciò non avviene nel caso il più favorevole all'emergenza, sarebbe assurdo l'ammettere la possibilità del fenomeno in altre circostanze. Dunque quando l'angolo rifrangente del prisma sia eguale o maggiore del doppio dell'angolo limite, i raggi luminosi non possono attraversare le due facce del prisma, o viceversa la condizione di questo passaggio è che l'angolo rifrangente del prisma sia minore del doppio dell'angolo limite di esso.

450. **Rifrazione della luce attraverso alle superficie curve — lenti.** Qualunque mezzo rifrangente terminato da una o due superficie sferiche si chiama *lente*. Secondo la natura delle facce le lenti diconsi *biconvesse, piano-convesse, convesso-concave, biconcave, piano-concave, concavo-convesse.* Le biconvesse (fig. 414) hanno sferiche convesse ambedue le superficie; nelle piano-convesse (fig. 415) una superficie è sferica convessa e l'altra è piana; le convesso-concave (fig. 416) sono terminate

Fig. 414. Fig. 415. Fig. 416.

da due superficie sferiche, convessa l'una e concava l'altra, ma tali che il raggio di curvatura della concava è maggiore di quello della convessa (ossia tali che la seconda è più curva della prima); le biconcave (fig. 417) sono circoscritte da due superficie sferiche concave; le piano-concave (fig. 418) presentano per superficie di confine un piano ed una calotta sferica concava; e finalmente le concavo-convesse (fig. 419) sono quelle

Fig. 417. Fig. 418. Fig. 419.

in cui una superficie è convessa ed ha il raggio di curvatura

maggiore di quello dell'altra, che è concava; in modo che la prima ha una curvatura meno rapida della seconda, giacchè la curvatura è in ragione inversa della lunghezza del raggio.

Le prime tre, le quali sono più grosse al centro che alla circonferenza, si chiamano *convergenti;* e le altre tre più sottili al centro che alla circonferenza si dicono *divergenti.* Le prime diconsi convergenti perchè hanno il potere di avvicinare fra loro i raggi luminosi che le attraversano; e le altre diconsi divergenti perchè hanno il potere di allontanare reciprocamente i raggi che passano per esse. Nel primo gruppo basta considerare la lente biconvessa, e nel secondo la biconcava, perchè le proprietà di ciascuna di queste lenti si applicano rispettivamente a quelle del medesimo gruppo.

Centro di curvatura — asse principale. Anche nelle lenti per *centro di curvatura* s'intende il centro della sfera a cui appartiene la superficie sferica della lente. Nelle lenti quindi, che hanno le superficie ambedue sferiche, i centri di curvatura sono due. La retta indefinita che in queste lenti passa per questi centri si chiama *asse principale.* Nelle lenti poi piano-concave o piano-convesse, l'asse principale è la retta condotta dal centro della faccia curva perpendicolarmente alla faccia piana.

Centro ottico — assi secondarj. In ogni lente havvi un punto, intorno a cui ne sono simmetricamente disposti gli elementi. Desso è sull'asse principale, e gode della proprietà di trasmettere i raggi che lo incontrano, non traviandoli dalla loro direzione primitiva. Questo punto si chiama il *centro ottico* della lente. Ogni retta poi condotta pel centro ottico obliquamente all'asse principale, ossia ogni retta che passa pel centro ottico e non per un centro di curvatura della lente, si chiama *asse secondario.* Gli assi secondarj possono essere in un numero indefinito.

Fuochi nelle lenti. Nelle lenti, come negli specchi, i fuochi sono i punti, nei quali avviene l'incrocicchio attuale dei raggi rifratti o virtuale dei loro prolungamenti. Esamineremo le proprietà dei fuochi nelle lenti convergenti e nelle divergenti.

451. **Fuochi nelle lenti convergenti.** Le lenti convergenti presentano le stesse specie di fuochi degli specchi concavi, cioè reali e virtuali, ed i primi sono principali o conjugati.

Fuoco principale. Si può supporre che le lenti convergenti siano formate da una serie di prismi riuniti colle loro basi. Quando pertanto i raggi incidenti sieno paralleli all'asse principale, è chiaro che essi rifrangendosi tutti allo stesso modo nel passag-

gio della lente biconvessa BE (fig. 420), si avvicineranno alla normale nell'incidenza, e si allontaneranno da essa all'emergenza, e piegandosi in ogni caso verso l'asse a cui sono paralleli, concorreranno in uno stesso punto F, se l'apertura della lente non sorpassa i dieci od i dodici gradi. Questo punto è il *fuoco principale*, e la distanza FA è la distanza *fuocale principale*. Essa è costante per una medesima lente, ma variabile coi raggi di curvatura e coll'indice di rifrazione. Nelle lenti ordinarie che sono di crown, ed hanno le superficie di curvatura eguali, il fuoco principale coincide quasi col centro di curvatura.

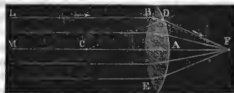



Fig. 420.

Fuoco conjugato. Consideriamo ora il caso, in cui l'oggetto luminoso, essendo al di là del fuoco principale, si trovi abbastanza vicino alla lente perchè tutti i raggi incidenti formino un fascio divergente. Se con L (fig. 421) si rappresenta il punto, da cui irradiano i raggi luminosi, si conosce che il raggio divergente LB forma colla normale un angolo LB*n*, maggiore dell'angolo SB*n* fatto dal raggio incidente nel caso in cui è parallelo all'asse. Per conseguenza il raggio luminoso LB emerge dalla lente sotto un angolo maggiore, ed incontra l'asse in un punto *l*, al di là del fuoco principale F. I raggi partiti da L si incrocicchiano sensibilmente nello stesso punto *l*, che dicesi il *fuoco conjugato* di L. Questa denominazione significa qui, come per gli specchi, che i due punti L ed *l* sono reciproci.

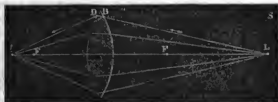



Fig. 421.

Quando l'oggetto L si avvicina alla lente, la divergenza dei raggi aumenta ed il fuoco *l* si allontana. Se la sorgente luminosa

coincide col fuoco principale (fig. 422), i raggi escono dalla lente paralleli all'asse e non formano fuoco alcuno.

Fig. 422.

Fuoco virtuale. Allorchè l'oggetto luminoso è più vicino alla lente che non sia il fuoco principale, i raggi incidenti fanno colla normale angoli maggiori di quelli formati dalla medesima retta coi raggi incidenti emessi dal corpo luminoso collocato al fuoco principale (fig. 423); e per conseguenza quelli si allontanano dall'asse più di questi, ossia costituiscono un fascio divergente. Essi pertanto non possono concorrere attualmente in un punto e formare un fuoco reale. I loro prolungamenti però s'incrocicchiano in uno stesso punto *l*, situato nell'asse, sul quale si trova il punto o l'oggetto luminoso; ed è il *fuoco virtuale*. Il fuoco virtuale si avvicina alla lente quando vi si accosta l'oggetto e se ne dilunga coll'allontanarsi di questo.

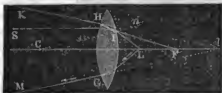



Fig. 423.

452. **Fuochi nelle lenti divergenti.** Le lenti biconcave si possono supporre formate da una serie di prismi riuniti pei loro vertici. Epperò i raggi luminosi SI, S'K (fig. 424) paralleli all'asse principale, al punto d'incidenza si rifrangeranno, avvicinandosi alla normale, ed al punto di emergenza si rifrangeranno allontanandosi da essa, ma sempre si piegheranno nello stesso verso di scostarsi dall'asse principale; sicchè i raggi, dopo il passaggio della lente saranno tuttora divergenti. Non può dunque esservi fuoco reale. Ma i prolungamenti di questi raggi hanno un punto F d'incrocicchio virtuale, che dicesi il fuoco *virtuale principale*.

Fig. 424.

Nel caso in cui il punto luminoso sia situato in L (fig. 425), ad una determinata distanza dalla lente, sicchè i raggi che arrivano su questa siano divergenti, si forma un fuoco virtuale in *l*, fra il fuoco principale e la lente medesima. Dunque nelle lenti divergenti il fuoco è sempre virtuale, qualunque sia la posizione dell'oggetto.

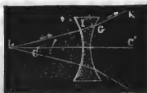



Fig. 425.

453. **Determinazione sperimentale del fuoco principale delle lenti.** Per determinare il fuoco principale di una lente convergente basta esporla ai raggi solari, in modo che l'asse principale di essa sia a loro parallelo, e ricevere il fascio emergente sopra un diaframma di vetro smerigliato. Il punto in cui il vetro smerigliato offre un'imagine più luminosa, è il fuoco principale.

Per determinare poi il fuoco in una lente divergente, se ne copre la faccia con un corpo opaco, per esempio, con nero di fumo, lasciando in uno stesso piano meridiano, e ad eguali distanze dall'asse, due piccoli circoli *a* e *b* (fig. 426) non anneriti, i quali permettano il passaggio alla luce. In seguito si riceve sull'altra faccia della lente un fascio di luce solare, parallelo all'asse, e lungo l'asse medesimo si sposta il diaframma P, su cui cadono i raggi emergenti, sino a tanto che le imagini A e B delle piccole aperture *a* e *b*, riescano distanti l'una dall'altra del doppio di *ab*. Allora si misura l'intervallo DI, che è la distanza fuocale domandata; perchè nei due triangoli simili FAB, F*ab*, le altezze stanno fra loro come le basi, ossia FI : FD = AB : *ab*, ed essendo AB = 2*ab*, sarà anche FI = 2FD, ossia FD $= \frac{FI}{2}$, e per conseguenza FD = DI.

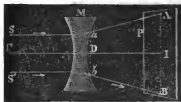



Fig. 426.

454. **Qualità — luogo — e grandezza delle imagini nelle lenti convergenti.** Nelle lenti, come negli specchi, l'imagine di un oggetto è il complesso dei fuochi di ciascuno dei punti di esso.

In primo luogo pongasi l'oggetto luminoso AB (fig. 427) collocato dirimpetto alla lente convergente O, ad una distanza qualsiasi maggiore dell'ampiezza fuocale. Se dal punto estremo A

si conduce l'asse secondario Aa, qualsiasi raggio AC emesso da questo punto si rifrange in C e in D, due volte nello stesso verso, avvicinandosi cioè all'asse secondario che incontra in a. Anche gli altri raggi emessi dal punto A, per quanto abbiam detto precedentemente, si riuniscono in a; e questo punto è il fuoco conjugato di A. I raggi emessi dal punto B formano allo stesso modo il loro fuoco in b. I punti situati tra A e B hanno evidentemente i loro fuochi fra a e b; in ab si forma l'imagine dell'oggetto AB. Questa imagine è reale capovolta relativamente all'oggetto, e dalla banda opposta della lente. Quanto alla sua grandezza ed alla sua distanza dalla lente, possono essere diversissime a norma della posizione dell'oggetto. In generale basterà notare che quanto più l'oggetto si appressa al fuoco, tanto più lentamente convergono i raggi rifratti, e tanto più lontani per conseguenza diventano i punti del loro incrocicchio; ed è pure manifestissimo che colla lontananza di questi punti cresce la grandezza dell'imagine. Possiam dunque farci, se non altro, quest'idea generica che appressando l'oggetto alla lente, l'imagine si allontana e s'ingrandisce. Quando l'oggetto è alquanto al di là del fuoco principale, l'imagine è più piccola di esso, e più vicina alla lente (fig. 427);

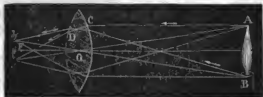



Fig. 427.

e quando l'oggetto è dappresso al fuoco principale, ossia quando ab è l'oggetto luminoso od illuminato, la sua imagine si forma in AB, ossia molto al di là del fuoco principale, ed è più grande dell'oggetto, e propriamente tanto più grande quanto più l'oggetto è vicino al fuoco principale, finchè non arrivi in questo punto, perchè allora non havvi imagine alcuna.

In secondo luogo, facciamo l'ipotesi che l'oggetto luminoso AB (fig. 428) sia trasferito fra la lente ed il fuoco principale di essa. Se si conduce dal punto A l'asse secondario Oa, qualsiasi raggio AC, dopo essersi rifratto due volte nel passaggio della lente diverge da quest'asse; sicchè non si potrà con esso incontrare che nel suo prolungamento, in un punto a, che sarà il fuoco virtuale del punto A. In seguito si conduca l'asse secondario del punto B: sappiamo che il fuoco virtuale di questo punto si forma

in *b;* sicchè in *ab* si ha l'imagine dell'oggetto AB. Questa imagine è diritta e virtuale; dalla stessa parte della lente dalla quale si trova l'oggetto, al di là del fuoco principale; e più grande dell'oggetto.

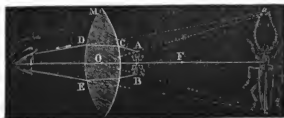



Fig. 428.

455. **Qualità — luogo — e grandezza dell'imagine nelle lenti divergenti.** Nelle lenti divergenti, come negli specchi convessi, le imagini sono sempre virtuali, qualunque sia la distanza dell'oggetto. Suppongasi un oggetto AB (fig. 429) esposto ad una di siffatte lenti. Tracciato dapprima l'asse secondario del punto A, è noto che tutti i raggi AC, AI, inviati da questo punto, si rifrangono due volte nello stesso verso, allontanandosi dall'asse AO; ed escono, come fossero direttamente partiti dal punto *a*, in cui i loro prolungamenti incontrano l'asse secondario AO.

Fig. 429.

Allo stesso modo i raggi luminosi del punto B sortono dalla lente secondo direzioni concorrenti in *b*, nel punto della loro intersezione coll'asse secondario del punto B. Quindi in *ab* formasi l'imagine dell'oggetto AB. Questa imagine è virtuale e diritta; è dalla stessa parte della lente ove si trova l'oggetto; più vicina alla lente quanto più l'oggetto è lontano; e più piccola dell'oggetto medesimo.

456. **Aberrazione di sfericità per rifrazione.** La formazione delle imagini nelle lenti avviene come l'abbiam descritta, se esse hanno un'apertura non maggiore di dieci o dodici gradi. Ma se non si verifica questa condizione, i raggi rifratti dalle parti della lente più lontane dall'asse non concorrono più esattamente nel fuoco. È questo un fatto che dipende dalla curvatura sferica delle lenti, ed è conosciuto sotto il nome di *aberrazione di sfericità per rifrazione.* Vi si potrebbe rimediare

dando alla lente una forma differente dalla sferica; ma le difficoltà che si incontrano nella costruzione di simili lenti hanno fatto rinunziare ad una tale idea. Nella maggior parte degli strumenti d'ottica, per impedire parzialmente questa aberrazione, si intercettano con un diaframma circolare i raggi che cadrebbero troppo vicino al lembo della lente. Ma il miglior modo di impedire l'effetto dell'aberrazione di sfericità per rifrazione è quello di unire fra loro due lenti di curvatura determinata. Si ottiene così un sistema di due lenti che dicesi *aplanetico*. Anche una lente sola può divenire *aplanetica* quando le sue facce abbiano una conveniente curvatura. Così è aplanetica una lente che abbia per faccia d'incidenza la superficie generata dall'arco al vertice di un ellisse, rotante intorno all'asse, e per faccia d'emergenza la porzione di superficie di una sfera, descritta col centro sull'asse suddetto, e con un raggio sufficiente per intersecare la prima faccia.

Dia-caustiche o caustiche per riflessione. I raggi rifratti da un mezzo diafano tagliansi, in generale, a due a due, in una serie di punti che costituiscono linee o superficie più illuminate che non lo spazio circonvicino. Queste linee, o queste superficie, diconsi *dia-caustiche o caustiche per rifrazione.*

457. **Formola delle lenti convergenti.** Le relazioni che esistono tra le distanze della lente dal fuoco e dall'oggetto, il raggio di curvatura, e l'indice di rifrazione della sostanza di cui è formata la lente si possono tradurre in equazione. Consideriamo dapprima il caso di una lente convergente. Sia P (fig. 430)

Fig. 430.

un punto luminoso, collocato sull'asse principale; con PI si rappresenti un raggio incidente, con IE la sua direzione nell'interno della lente, e con EP′ il raggio emergente, di modo che P′ sia il fuoco conjugato di P. Si conducano le normali ON e ON′ ai punti d'incidenza e d'emergenza; e perciò i sia l'angolo d'incidenza ed r l'angolo di rifrazione all'ingresso, i' l'angolo d'incidenza, ed r' l'angolo di rifrazione all'emergenza della luce dalla lente.

Ciò posto si richiami essere $n = \frac{\text{Sen. } i}{\text{Sen. } r}$, ed anche $n = \frac{\text{Sen. } r'}{\text{Sen. } i'}$; ossia Sen. $i = n$. Sen. r, e Sen. $r' = n$. Sen. i'. Supponendo l'apertura dello specchio di un piccolo numero di gradi, ai seni si potranno sostituire gli angoli; quindi avremo $i = n . r$ ed $r' = n . i'$; e sommando queste due equazioni, avremo $i + r' = n\,(r + i')$.

Ma ogni angolo esterno ad un triangolo eguaglia la somma degli interni opposti, ossia $i = \alpha + \delta$, $r' = \gamma + \beta$; e d'altronde, siccome i due triangoli IOE, COC′ hanno l'angolo O eguale, così si ha $r + i' = \gamma + \delta$, quindi sostituendo avremo $\alpha + \delta + \gamma + \beta = n(\gamma + \delta)$ ossia $\alpha + \beta = n\,(\gamma + \delta) - (\gamma + \delta) = (\gamma + \delta)\,(n - 1)$.

Ciò posto, supponiamo che gli angoli α e γ siano misurati dagli archi descritti coi centri P e C, e con raggio eguale all'unità; dal centro P, con raggio AP descriviamo l'arco Ad, e dal centro C con raggio CA′ descriviamo l'arco A′E. Siccome gli archi dello stesso numero di gradi stanno fra loro come i rispettivi raggi, così avremo $\alpha : \text{A}d = 1 : \text{AP}$; e $\gamma : \text{A'E} = 1 : \text{CA'}$; dalle quali si ottiene $\alpha = \frac{\text{A}d}{\text{AP}}$, e $\gamma = \frac{\text{A'E}}{\text{CA'}}$; ossia sostituendo all'arco Ad l'arco AI, che gli è sensibilmente eguale, avremo $\alpha = \frac{\text{AI}}{\text{AP}}$, e $\gamma = \frac{\text{A'E}}{\text{CA'}}$.

Allo stesso modo si può supporre che gli archi corrispondenti a β e δ siano descritti con raggio eguale all'unità, ed imaginare l'arco A′n descritto col raggio P′A′. In questa ipotesi avremo $\beta : \text{A'}n = 1 : \text{P'A'}$; e $\delta : \text{AI} = 1 : \text{C'A}$; dalle quali si ottiene: $\beta = \frac{\text{A'}n}{\text{P'A'}}$; e $\delta = \frac{\text{AI}}{\text{C'A'}}$, ossia $\beta = \frac{\text{A'E}}{\text{P'A'}}$; $\delta = \frac{\text{AI}}{\text{C'A'}}$.

Se per brevità supponiamo $\text{AP} = p$, $\text{CA'} = \text{R}$, $\text{P'A'} = p'$ $\text{C'A} = \text{R'}$, avremo: $\alpha = \frac{\text{AI}}{p}$, $\gamma = \frac{\text{A'E}}{\text{R}}$, $\beta = \frac{\text{A'E}}{p'}$, e $\delta = \frac{\text{AI}}{\text{R'}}$.

Epperò sostituendo questi valori nell'equazione superiore $\alpha + \beta = (n - 1)\,(\gamma + \delta)$, avremo: $\frac{\text{AI}}{p} + \frac{\text{A'E}}{p'} = (n - 1) \left(\frac{\text{A'E}}{\text{R}} + \frac{\text{AI}}{\text{R'}}\right)$. Quando poi si ammetta che gli archi AI ed A′E sieno eguali, come avviene con tanto più di approssimazione quanto meno i raggi incidenti si scostano dall'asse, si ottiene $\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = (n - 1) \left(\frac{1}{\text{R}} + \frac{1}{\text{R'}}\right)$. Questa formola esprime la relazione tra le quantità p, p', n, R ed R′.

Allorchè la distanza p del punto luminoso diviene infinita, $\frac{1}{p}$ è infinitamente piccolo, e la formola si muta nell'altra $\frac{1}{p'} = (n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R'}\right)$; ove p' indica in tal caso la distanza focale principale. Rappresentandola con f, si ha $\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R'}\right)$. Ma $(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R'}\right) = \frac{1}{p}+\frac{1}{p'}$; dunque avremo in ogni caso $\frac{1}{f} = \frac{1}{p}+\frac{1}{p'}$, che è la formola più comunemente adoperata per le lenti convergenti.

Se l'imagine è virtuale, p' cambia di segno, e la formola diviene $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{p'}$.

Formola delle lenti divergenti. Nelle lenti divergenti p' ed f conservano lo stesso segno, ma cangia quello di p, quindi la formola diviene $\frac{1}{f} = \frac{1}{p'} - \frac{1}{p}$.

Per conoscere il valore di p' si può ridurre l'espressione $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{p'}$ alla forma $p' = \frac{p}{1-\frac{p}{f}}$. Di fatti da quella formola si ottiene $\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} - \frac{1}{f}$, e questa si trasforma facilmente nell'altra $\frac{1}{p'} = \frac{f-p}{pf}$, da cui $p' = \frac{pf}{f-p} = \frac{p}{1-\frac{p}{f}}$.

458. **Applicazione delle lenti.** Le lenti furono applicate alla costruzione degli apparati di ottica. Ma di questi ci dovremo occupare più innanzi. Qui vogliamo indicare solamente il loro uso nei fari a rifrazione. Nei fari per riflessione si perdeva circa la metà della luce, e inoltre la superficie metallica dello specchio riflettore si alterava con grande facilità. Fresnel ebbe la felice idea di sostituire allo specchio un sistema di lenti, che adempisse allo stesso officio di rendere paralleli i raggi emessi da una lucerna. A questo fine Fresnel si servì delle *lenti a gradinate*, onde il sistema fosse privo dell'aberrazione di sfericità, ed abbastanza sottile perchè non assorbisse una notevole quantità di luce. Le lenti a gradinate sono tutte piano-convesse: la lente

centrale è circolare, e le altre, che circondano la prima, hanno la forma di corone circolari concentriche (fig. 431). Una delle facce della lente complessiva è piana, ma nell'altra tutte le diverse parti hanno una superficie distinta, come si vede nella figura della sezione (fig. 432). Le curvature delle diverse lenti

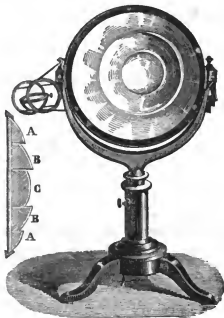



Fig. 432. Fig. 431.

sono tali che i loro fuochi principali concorrono in un punto solo. Per costruire un faro d'illuminazione, si riuniscono diverse porzioni rettangolari di lenti a gradinate, disponendole verticalmente attorno un centro luminoso, in modo da formare un tamburo prismatico o cilindrico, il cui asse passi pel fuoco principale di ciascuna lente. Il centro luminoso è la fiamma di una lampada a tre o quattro lucignoli concentrici. Alcuni di questi fari diconsi *rotanti* ed altri *fissi*. Nei primi il tamburo lenticolare è animato di un movimento rotatorio regolare; nei secondi è fisso, ma esternamente ad esso girano due lenti cilindriche verticali. Si fa questo allo scopo di avere, ad intervalli eguali, un aumento d'intensità nella luce diffusa allo spazio circostante, onde dal numero, diverso pei diversi fari situati lungo una medesima

costa, dei cangiamenti periodici nell'intensità della luce in un minuto secondo, s'abbia un criterio per distinguere gli uni dagli altri.

La portata di un faro è la massima distanza alla quale lo si può percepire. Essa dipende dall'intensità della luce e dall'altezza al dissopra del livello del mare; ed è per questo che i fuochi a grande portata sono disposti sopra di un'altissima torre. Il sistema rischiarante di un faro dà un risultato soddisfacente quando, durante la notte, è visibile fino ai limiti del suo orizzonte, avendo l'aria una media trasparenza.

459. **Doppia rifrazione**. A compire l'esame del fenomeno della rifrazione, ci rimane da accennare una circostanza notevole, od una modificazione del fenomeno stesso; ed è che in qualche caso un solo fascetto luminoso incidente si divide in due raggi rifratti. Allora il fenomeno assume il nome di *doppia rifrazione*, e le sostanze che lo producono si appellano *birifrangenti*. Tutti i cristalli, eccettuati quelli che appartengono al primo sistema, sono birifrangenti, ed anche i cristalli di questo sistema ed i corpi amorfi possono divenire tali, quando una causa estrinseca alteri l'uniforme aggregazione delle loro molecole.

Assi ottici — cristalli ad un asse — a due assi. Nei cristalli birifrangenti si trovano sempre una o due direzioni, secondo le quali osservasi solo la rifrazione semplice, cioè secondo le quali vedesi una sola imagine degli oggetti. Queste direzioni si chiamano *assi ottici* del cristallo; e si chiamano *cristalli ad un asse* quelli che hanno un solo asse ottico, e *cristalli a due assi* quelli che ne presentano due.

Doppia rifrazione nei cristalli ad un asse. — Sezione principale. Chiamasi sezione principale di un cristallo ad un asse il piano che passa per l'asse ottico ed è perpendicolare ad una faccia naturale od artificiale del cristallo.

Raggio ordinario — straordinario. Nei cristalli ad un asse l'uno dei fascetti rifratti segue sempre le leggi della rifrazione semplice, ma l'altro se ne allontana, cioè in generale non mantiene costante il rapporto tra il seno dell'angolo d'incidenza e quello dell'angolo di rifrazione, e non giace nel piano d'incidenza. Il primo di questi raggi è chiamato *ordinario* e l'altro *straordinario*. Le imagini, che loro corrispondono, si denotano esse pure coi nomi di imagine *ordinaria* e *straordinaria*.

Cristalli ad un asse positivi — negativi. Il raggio ordinario e lo straordinario hanno indici differenti: in alcuni cristalli è maggiore l'indice del raggio ordinario, ed in altri quello dello straordinario. Fresnel diede ai primi il nome di cristalli *negativi*, ed

ai secondi quello di cristalli *positivi*. La tavola seguente offre l'elenco dei cristalli ad un asse, positivi e negativi.

CRISTALLI POSITIVI		
Zircone o giargone	Apofillite	Idrato di magnesia
Quarzo	Solfato di potassa e	Iposolfato di calce
Tungstato di zinco	ferro .	Dioptasia
Stannite	Sovracetato di rame	Argento rosso
Boracite	e calce	
CRISTALLI NEGATIVI		
Spato d'Islanda	Cloruro di calcio	Cloruro di stronzio
Carbonato di calce e	Berillo	Cinabro
di magnesia	Apatite	Mellite
Carbonato di calce e	Idocrasia	Sotto-fosfato di potassa
ferro	Mica	Fosfato di nikel e rame
Tormalina	Wernerite o parantina	Molibdato di piombo
Rubellite	Fosfato di piombo	Fosfato di calce
Zaffiro	» di piombo ar-	Arseniato di piombo
Corindone	senicato	» di rame
Rubino	Idrato di stronziana	Ottaedrite
Smeraldo	Arseniato di potassa	Nefelina

Leggi della doppia rifrazione nei cristalli ad un asse. 1.° Quando il piano d'incidenza è perpendicolare all'asse, anche il raggio straordinario obbedisce alle leggi di Cartesio: ha tuttavia un indice di rifrazione diverso da quello del raggio ordinario. 2.° Quando la faccia d'incidenza è perpendicolare all'asse, oppure il raggio incidente si trova in una sezione principale, i due raggi rifratti si trovano nel piano d'incidenza; ma il rapporto dei seni degli angoli d'incidenza e di rifrazione straordinaria non è costante. 3.° I raggi rifratti non si propagano con velocità eguali nei cristalli birifrangenti; ma la differenza dei quadrati delle loro velocità è proporzionale al quadrato del seno dell'angolo che il raggio straordinario fa coll'asse.

Doppia rifrazione nei cristalli a due assi. = *Linea media — linea supplementare.* La bisettrice dell'angolo acuto dei due assi chiamasi *linea media* od *intermediaria;* e la bisettrice dell'angolo ottuso dei medesimi due assi dicesi linea *supplementare.* Queste due rette, reciprocamente perpendicolari, giacciono nel piano dei due assi. Il piano che passa per la linea media, perpendicolarmente al piano degli assi, dicesi *sezione media;* ed il piano che passa per la linea supplementare, perpendicolarmente allo stesso piano degli assi, chiamasi *sezione supplementare.* Queste due sezioni sono quelle che diconsi principali del cristallo.

Leggi della doppia rifrazione nei cristalli a due assi. 1.° Ordinariamente nessuno dei due raggi segue le leggi della rifrazione semplice. 2.° Ma quando il piano d'incidenza si confonde con una delle due sezioni principali, i due raggi rifratti si trovano in questo medesimo piano, e l'uno di essi obbedisce anche alla legge dei seni: quello dei due raggi che segue questa legge nella sezione media non lo fa nella sezione supplementare, e viceversa quello che la segue nella sezione supplementare, non lo fa nella media.

Cristalli a due assi. Nella tavola seguente offriamo l'elenco dei cristalli a due assi, indicando l'angolo di queste due rette.

Nome del cristallo	Angolo dei due assi	Nome del cristallo	Angolo dei due assi
Solfato di nikel	3°	Carbonato di barite	6°
Solfocarbon. di piombo	»	Nitrato di potassa	5°, 20'
Carbonato di stronziana	6°, 56'		
Talco	7°, 24'	Solfidroclorato di ma-	
Perla	11, 28	gnesia e ferro	51, 16
Idrato di barite	13, 18	Solfato di magnesia ed	
Arragonite	18, 18	ammoniaca	51, 22
Cianuro di potassio	19, 24	Fosfato di soda	55, 20
Cimofane	27, 51		56°, 6'
Anidrite	28, 7	Solfato di calce	60, »
Borace nativo	28, 42	Nitrato d'argento	62, 16
Apofillite	35, 8	Jolite	62, 50
Solfato di magnesia	37, 24	Feldspato	63, »
» di barite	37, 42	Solfato di potassa	67, »
Spermaceti	37, 40	Carbonato di soda	70, 1
Borace nativo	38, 48	Acetato di piombo	70, 25
Nitrato di zinco	40, »	Acido citrico	70, 29
Stilbite	41, 42	Tartrato di potassa	71, 20
Solfato di nikel	42, 4	Acido tartrico	79, »
Carbonato d'ammon.	43, 24	Tartrato di potassa e	
Solfato di zinco	44, 28	soda	80, »
Anidrite (Biot)	44, 41	Carbonato di potassa	80, 30
Lepidolite	45, »	Cianite	81, 48
Benzoato d'ammoniaca	45, 8	Clorato di potassa	82, »
Solfato di soda e ma-		Epidoto	84, 19
gnesia	46, 49	Cloruro di rame	84, 30
Solfato d'ammoniaca	45, 8	Peridoto	87, 56
Topazio	49 a 65	Acido succinico	90, »
Zuccaro	50	Solfato di ferro	90, »
Solfato di stronziana	50	Mica	da 0 a 76,56

Causa generale della doppia rifrazione. La velocità di propagazione della luce varia colla direzione che segue nel cristallo. L'etere pertanto deve avere una diversa densità nelle differenti direzioni; e da ciò dipende la doppia rifrazione. Questa ineguaglianza di densità dell'etere nei corpi birifrangenti probabilmente dipende dall'essere le molecole dei corpi stessi aggruppate diversamente, cioè più ravvicinate in alcune direzioni che non in altre.

CAPO SECONDO

DECOMPOSIZIONE DELLA LUCE.

460. **Oggetto di questo capo.** Finora abbiamo considerati i raggi luminosi come linee matematiche. Ma dessi posseggono pure qualità o proprietà fisiche, che si manifestano nel vario modo con cui affettano il nostro occhio, o negli effetti diversi che producono incontrandosi fra loro, riflettendosi alle superficie dei corpi, attraversando i mezzi differenti ecc. Così, per esempio, tutti sanno che la luce irradiata da un corpo luminoso o chiaro, spesse volte produce sull'organo della vista impressioni diverse da quelle di un altra, ed indipendenti dalla intensità e dalla via che segue nella sua propagazione. Ciò suppone un cambiamento nelle qualità dei raggi che arrivano all'occhio nei diversi casi, ed è quello che vogliamo indicare col nome di *colore nei raggi luminosi.*

Per lungo tempo si pensò che nell'ordine materiale nulla vi fosse di più indivisibile della luce, ma col progresso delle scienze si potè provare evidentemente che la luce del sole, bianca per sè stessa, contiene tutti i colori, dei quali la natura abbellisce e diversifica all'infinito le sue produzioni; o, in altre parole, la luce solare è un movimento che può essere risolto nelle sue componenti. Una tale risoluzione può avvenire per rifrazione, per riflessione e per assorbimento. Ci occuperemo qui di ciascuno di questi modi di decomposizione della luce.

ARTICOLO PRIMO

DECOMPOSIZIONE DELLA LUCE PER RIFRAZIONE.

461. **Spettro solare.** Una esperienza antica, riprodotta e variata da Newton, servì a questo fisico di punto di partenza per una lunga serie di brillanti esperienze, che segnarono un'e-

poca novella per le scienze fisiche. Un fascio di luce solare SA (fig. 433), che penetra nella camera nera dalla piccolissima apertura, tende a formare in K un'imagine rotonda e bianca del sole; ma se lo si riceve sopra una faccia d'un prisma di flint P, collocato in modo d'avere gli spigoli orizzontali, il fascio, all'ingresso ed all'uscita dal prisma, si rifrange verso la base di esso, ed invece di un'imagine rotonda e bianca, produce sopra un diaframma lontano un'imagine HI, la quale nella direzione orizzontale, ossia parallela agli spigoli del prisma ha la stessa dimensione del fascio primitivo; ma è molto allungata nel senso verticale, ossia perpendicolare agli spigoli del prisma, cioè nel piano di rifrazione; e si mostra colorita delle tinte le più vive che si succedono da una estremità all'altra. Newton diede a questa imagine il nome di *spettro solare*, ed al fenomeno dell'apparizione dei colori nel fascio rifratto quello di *dispersione*. La forma dello spettro è un rettangolo, se tale l'apertura della camera. I limiti laterali dello spettro sono precisamente definiti, ma alle due estremità il passaggio dalla luce alla parte nera avviene per sfumatura. Quando il foro della camera è circolare, le due estremità sono arrotondate.

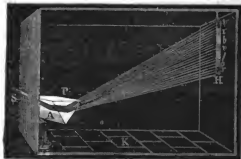



Fig. 433.

Newton ha distinto nello spettro solare sette colori principali, che sono, cominciando dalla parte della base del prisma, il violetto, l'indaco, il turchino, il verde, il giallo, il ranciato ed il rosso. Questa ripartizione però è semplicemente convenzionale; nè si potrebbe in alcun modo stabilire quanti siano i colori dello spettro; giacchè nella lista luminosa non si vede già un pezzo tutto rosso uniforme, poi subito un pezzo tutto ranciato, ma il rosso và rischiarandosi a poco a poco, finchè si volta in ranciato, con gradazioni così sfumanti che non è assolutamente possibile dire dove l'uno finisca, e l'altro cominci; e scorrendo lo spettro da un colore ci troviamo nel seguente quasi senza accorgerci. È dunque indefinito il numero dei colori che compongono lo spettro solare. Inoltre, in esso si osservano molte interruzioni, eccessivamente piccole, che si chiamano le *righe dello spettro*, e delle quali ci occuperemo più innanzi. Newton,

onde evitare tutte le modificazioni che la riflessione poteva produrre nelle qualità dei raggi, fece le sue esperienze su luce solare che entrava direttamente nella camera oscura. Quando però non si tratta che di ripetere le esperienze già constatate, si può, senza inconveniente, servirsi della luce riflessa da uno specchio metallico.

Anche le altre sorgenti luminose danno luogo allo spettro, quando i loro raggi attraversano un prisma; ma, in generale, questi spettri sono meno brillanti di quello del sole. I colori sono sempre disposti nel medesimo ordine, sebbene in qualche caso alcuno di essi manchi ed apparisca al suo luogo una striscia nera.

Estensione dello spettro solare. 1.° La lunghezza dello spettro aumenta coll'angolo del prisma, come si può constatare con un prisma ad angolo variabile. Per avere un bello spettro bisogna adoperare un prisma di flint-glass, il cui angolo non sia minore di 60.° 2.° L'estensione dello spettro dipende dalla sostanza del prisma. Lo si riconosce per mezzo di un poliprisma, ossia di un prisma composto di più prismi del medesimo angolo, ma di sostanze differenti, sul quale si fa cadere un fascio sottile ed assai largo nel senso degli spigoli. A questo modo si ottengono parecchi spettri, disposti gli uni accanto degli altri, ma di estensione differente. Se i prismi sono incolori, tutti gli spettri presentano le medesime tinte, le quali si succedono nello stesso ordine, ma non occupano spazj proporzionali. Per esempio, con un prisma di vetro ordinario o di crown-glass, il rosso occupa relativamente maggior spazio che nello spettro formato da un prisma del medesimo angolo in flint-glass, o di cristallo; e lo spettro di quest'ultimo presenta il violetto più esteso di quello ottenuto col primo prisma.

Si può fare la stessa esperienza con prismi liquidi. A questo scopo si adopera una cassetta prismatica di vetro, a pareti doppie, tra loro esattamente parallele: lo spazio interno è diviso, per mezzo di alcune lamine perpendicolari alla direzione degli spigoli, in varii compartimenti, che si riempiono con liquidi diversi. Il solfuro di carbonio dà un bellissimo spettro; quello prodotto dall'acqua è poco appariscente; ma lo si può rendere brillante saturando il liquido coll'acetato di piombo.

462. **Proprietà fisiche della luce solare**. Dopo d'avere osservata la dispersione nelle condizioni le più varie, Newton ne diede una spiegazione naturalissima. La luce solare, diss'egli, è composta: è un insieme d'innumerevoli raggi diversamente colorati. Questi diversi raggi sono inegualmente rifrangibili; ed

è per questo, che mentre si rifrangono, gli uni si separano dagli altri. Ma sono però semplici od indecomponibili, cioè nessuno di essi è capace di produrre in seguito una seconda dispersione. La teorica newtoniana può essere sviluppata nel modo seguente.

I. *I diversi raggi colorati sono inegualmente rifrangibili.* Questo principio è confermato da molte esperienze.

1.° Si isola un piccolissimo fascio luminoso, che esce da un prisma *p* (fig. 434), ricevendo lo spettro sopra un diaframma *a*, disposto in modo che il raggio, sul quale vuolsi esperimentare, cada al foro *o*, praticato nel diaframma. Questo raggio, o fascetto, attraversa un secondo prisma p', che lo devia verso la base. Quando la deviazione prodotta da questo prisma sia la minima, la distanza *ur'* dell'imagine *u* dall'imagine diretta *r'*, che il raggio forma nel caso in cui non vi è frapposto il secondo prisma, misura la rifrangibilità del raggio. Se a questo modo si opera sui raggi dei differenti colori, si trova che la distanza *ur'* è più grande pei raggi violetti che per tutti gli altri, e va diminuendo dal violetto al rosso, pel quale è la più piccola.

Fig 431.

2.° Sopra un prisma A (fig. 435), disposto orizzontalmente,

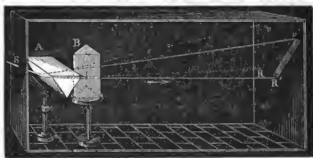



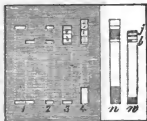
Fig. 435.

si riceve un fascio di luce solare S, il quale forma uno spettro R*v* in uno schermo lontano. Ma se dietro al primo si colloca un secondo prisma B verticale, in modo che il fascio rifratto passi pel medesimo, lo spettro R*v* declina anche verso la base di

esso. Invece però di essere deviato parallelamente al piano in cui si trova, come avverrebbe se i colori dello spettro fossero rifratti tutti allo stesso modo, assume una posizione obliqua R′v′, di maniera che l'estremità violetta v′ si trova più allontanata dallo spettro diretto Rv, che non l'estremità rossa R′. Ciò prova che i raggi violetti furono deviati dal secondo prisma più che gli altri raggi. Siccome poi, quando il foro della camera oscura è rettangolare, i limiti dello spettro R′v′ sono rettilinei, così è manifesto che la rifrangibilità dei raggi colorati cresce in modo continuo dal rosso al violetto, come si poteva prevedere, giacchè nello spettro da un colore si passa gradatamente al seguente. Inoltre se il secondo prisma B è identico al primo A, e se i raggi entrano nei due prismi sotto la medesima incidenza, le distanze vv′ ed RR′ sono eguali alle distanze che separano le estremità v ed R dello spettro diretto dal punto in cui si formerebbe l'imagine dell'apertura della camera, se fossero levati i due prismi; e ciò mostra che la rifrangibilità di ciascun raggio non è punto modificata dal passaggio nel primo prisma. Newton diede a questa esperienza una disposizione più elegante, disponendo due prismi eguali ed opposti in modo che in un medesimo diaframma si avessero a soprapporre due spettri inversi, che osservava con un terzo prisma, perpendicolare agli altri due. I due spettri apparivano incrociati e diversamente declinati verso il vertice del terzo prisma.

3.° Onde non s'attribuisse l'ineguale rifrangibilità ad una modificazione dei raggi nel passaggio del vetro, Newton ha voluto constatarla con un solo prisma. A questo scopo egli dispose parallelamente agli spigoli di un prisma una lista di carta molto bene rischiarata, di cui una metà (fig. 436, n. 1) era turchina e l'altra metà era rossa. Guardando questa lista di carta attraverso al prisma, vidde separate le due parti: la metà turchina era più elevata verso il vertice del prisma che la parte rossa. Ciò prova che i raggi emessi dalla porzione di carta turchina arrivano all'occhio dopo d'essere stati deviati molto più dei raggi rossi. L'esperienza si può ripetere con due altri colori, e le due parti della lista sono tanto più allontanate fra loro quanto più i colori sono lontani nello spettro.

Fig. 436.

4.° Si può ottenere il medesimo risultato quando sulle due liste di carta di diverso colore e vivamente rischiarate si distendano alcuni fili neri, e si riceva in una superficie bianca l'imagine

delle due porzioni colorate formata da una lente. Si osserva che onde le imagini dei fili neri siano egualmente chiare nel medesimo istante, è necessario che il diaframma si trovi più vicino alla lente dalla parte del turchino che dalla parte del rosso: i raggi turchini hanno il loro fuoco più vicino alla lente che non i raggi rossi, ossia quelli sono più rifrangibili di questi. Newton fece la stessa esperienza rischiarando coi raggi dello spettro un foglio scritto o stampato, e cercando la posizione dell' imagine focale corrispondente ai raggi diffusi dalla carta: trovò che il diaframma deve essere più vicino alla lente per vedere chiaramente i caratteri rischiarati dalla parte violetta dello spettro, che per vedere quelli rischiarati dalla parte rossa. L'osservazione è precisa se fatta in una camera oscura, sicchè il foglio scritto o stampato non riceva altra luce che quella dello spettro.

II. *I raggi dello spettro sono semplici.* Quando sopra un prisma p' (fig. 434) si ricevono i raggi d' un colore dello spettro, isolati dagli altri per mezzo del diaframma a, si osserva che l' imagine ch' essi producono sulla parete t è sempre della tinta dei raggi che passano per o, e conserva la forma del foro stesso, se il prisma p' produce la deviazione minima. Tutto il divario tra l'imagine che sarebbe risultata se i raggi non avessero trovato il secondo prisma p', e l'imagine data da questo prisma, è nella posizione: la seconda si trova in u, mentre la prima sarebbe stata in v'. Da ciò non è possibile inferire con certezza che i raggi di un colore dello spettro siano indecomponibili, ma lo si può dedurre come verosimile, specialmente se si bada all'esperimento seguente. Si riunisca assieme, per mezzo di una lente, il giallo e l'azzurro dello spettro, e con un prisma si guardi l' imagine verde ottenuta. Dessa si mostra tinta di giallo e di azzurro; laddove l' imagine verde prodotta dai soli raggi verdi dello spettro, mantiene lo stesso colore anche veduta attraverso di un prisma. In queste esperienze bisogna avere tutte le cautele perchè il prisma non riceva un' altra luce diversa da quella che vuolsi esaminare.

Dopo ciò Newton distinse i colori in *semplici* e *composti.* I semplici od elementari sono quelli che si veggono nello spettro; ed i composti sono quelli che risultano dalla mescolanza di due, o più, dei primi. Chevreul distinse i colori semplici in *luminosi,* che sono il rosso, il ranciato, il giallo ed il verde, ed in *oscuri,* che sono il turchino o bleu, l'indaco ed il violetto, i quali hanno meno di splendore che non i primi quattro. I colori composti possono assomigliare ai semplici, ma raramente sono a loro identici quanto all'impressione prodotta sull'organo della vista. Così colla mescolanza di

certi raggi colorati si ottiene il rosso, il ranciato.... analoghi ai medesimi colori dello spettro, ma differenti essenzialmente in ciò che essendo formati da raggi inegualmente rifrangibili, si decompongono allorchè sono rifratti.

III. *La mescolanza dei colori dello spettro forma la luce bianca.* Newton, per togliere ogni dubbio circa la sua teorica, volle mostrare che la meschianza dei colori dello spettro produce il bianco. Ed ecco alcune delle esperienze ch'egli ideò a questo fine.

1.° Si riceve il fascio luminoso (fig. 437), disperso da un prisma, sopra un secondo prisma di angolo e di sostanza eguale, collocato alla stessa altezza e nella stessa direzione, ma in modo d'avere la sommità dalla parte opposta a quella del primo. I due prismi debbono essere molto vicini, onde il secondo abbracci il fascio intiero. Per questa disposizione i raggi emergenti dal secondo prisma sono resi paralleli, e formano un fascio di luce bianca.

Fig. 437.

La stessa esperienza può essere fatta anche con una cassetta quadrangolare di vetro, divisa in due parti da una lamina diagonale. Si versa acqua in uno dei due compartimenti, e facendo passare un fascio di luce attraverso al prisma liquido, si ottiene uno spettro. Ma quando si riempie d'acqua anche il secondo compartimento, e così si forma un prisma di angolo eguale al primo, e ad esso opposto, il fascio luminoso è ricondotto alla forma cilindrica ed alla bianchezza primitiva.

Un'altra maniera di ripetere quell'esperimento consiste nell'accogliere in un diaframma bianco il fascio disperso, e guardarlo attraverso un secondo prisma eguale, collocato nella stessa posizione sotto al primo. Quando a poco a poco si faccia rotare il secondo prisma, si finisce ad avere un'imagine bianca.

2.° Si ricompone la luce bianca riunendo in uno stesso punto i raggi colorati che formano lo spettro. A questo scopo si può adoperare una lente convergente L (fig. 438), abbastanza estesa per ricevere tutto intiero il fascio disperso dal prisma. I raggi che hanno attraversata la lente, si incrocicchiano in F, e ponendo quivi una carta, si scorge una viva luce di color bianco. Ma la carta dev'essere proprio nel fuoco, perchè i raggi in seguito continuano la loro via, producendo un secondo spettro, rovesciato in ordine al primo. Questo dimostra che i raggi

Fig. 438.

colorati non si alterano nel loro incontro, e ciascun d'essi conserva le sue qualità anche dopo d'essersi mescolato cogli altri.

Se con una lamina opaca parallela agli spigoli del prisma, si intercetta qualche colore dello spettro, l'imagine focale F ricevuta in un diaframma bianco, presenta un colore che cangia quando si sposta la lamina in modo da cambiare i raggi isolati. L'esperienza acquista di eleganza intercettando colori non continui. Per ciò si adopera un diaframma frastagliato. Se poi a questo diaframma s'imprime un rapido movimento alternativo nel senso parallelo al piano di dispersione, l'imagine focale appare bianca; giacchè persistendo l'impressione fatta nell'occhio per circa $^1/_{10}$ di secondo, i colori si succedono al fuoco con abbastanza di rapidità onde le impressioni sussistano simultaneamente.

Fig. 439.

Tutti questi risultati si possono ottenere egualmente per mezzo d'uno specchio sferico concavo. Quando lo spettro cade in un tale specchio, si vede nel fuoco la luce bianca (fig. 439).

3.° Si possono anche radunare in uno stesso punto i raggi dispersi da un prisma, per mezzo di sette piccoli specchi piani che possono moversi attorno un'asse verticale ed un altro orizzontale (fig. 440), ed essere avvicinati più o meno gli uni agli

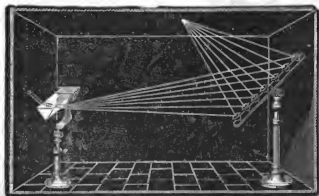



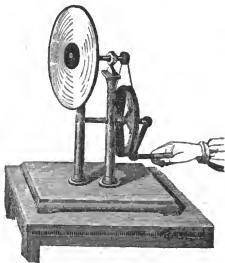
Fig. 440.

altri lungo un'asta. Nell'esperimento si inclina ognuno di questi specchi in modo che riceva uno dei sette colori principali del fascio disperso, e che i sette fasci riflessi si incontrino in un medesimo punto, ove formano la luce bianca.

4.° La durata delle impressioni prodotte nell'occhio ha suggerito a Newton un'altra graziosa esperienza. Si copre un cerchio (fig. 441), del diametro di circa 35 centimetri, con settori di carta, coloriti rispettivamente in rosso, ranciato, giallo, verde, turchino, indaco, violetto, in modo da imitare, nel grado e nell'estensione relativa delle tinte, lo spettro solare; e s'imprime a questo disco un moto rapido di rotazione (fig. 442). La retina riceve simultaneamente l'impressione dei sette colori dello spettro, ed allora il disco sembra bianco, o meglio grigio, perchè i colori di cui è coperto non corrispondono precisamente a quelli dello spettro. Musschembroeck esperimentò anche con una trottola la cui superficie era stata divisa secondo i meridiani in sette parti dipinte dei sette colori dello spettro.

Fig. 441.

Fig. 442.

Newton chiama *colori complementari* quelli che mescolati insieme formano il bianco. Riunendo successivamente due diversi colori dello spettro, isolati dagli altri, si constata l'esistenza di molti gruppi binarj, che, combinati in proporzioni opportune, formano il bianco perfetto. Se si eccettua il verde puro, ogni colore semplcei dello spettro è complementare di un altro colore semplice.

IV. *Le ondulazioni corrispondenti ai diversi raggi semplici sono diversamente lunghe, ossia ai raggi colorati corrispondono diversi numeri di vibrazioni. L'ondulazione* è lo spazio brevissimo percorso da ciascuna molecola eterea nell' atto in cui si move rapidamente una volta in un senso ed un'altra nel senso opposto. Invece dicesi *semi-ondulazione* lo spazio che la molecola stessa percorre movendosi una volta nell'uno o nell'altro senso.

Non deve far meraviglia se alla teorica di Newton aggiungiamo quest' altro principio, che sebbene sia frutto di più recenti esperienze, compie le cognizioni che abbiamo attualmente sulla natura dei raggi colorati. Desso è confermato dalle circostanze particolari che accompagnano la diffrazione.

Il fenomeno della diffrazione non consiste solo in un'apparente inflessione dei raggi luminosi, ma spesse volte è accompagnato da una colorazione o da una interferenza analoga a quella dei raggi sonori (371). Questo può avvenire in diverse circostanze.

Quando si introduce un fascio di luce solare in una camera oscura, per un piccolo forellino, munito di una lente convergente L (fig. 443) a corto foco, e con un sottile diaframma opaco *e*, si intercetta una porzione *ae* del cono luminoso, mentre l'altra parte è ricevuta in un cartone bianco *b*, su questo si forma un'imagine simile alla rappresentata in B. Nello spazio, cioè, che dovrebbe essere uniformemente illuminato si osservano striscie diversamente colorate, dette *nastri* o *frange*, e fuori di questo spazio, nell'ombra geometrica, si vede una luce assai viva che va scemando rapidamente a misura che si allontana dal limite geometrico. Se la luce introdotta nella camera oscura è semplice, le frange sono alternativamente oscure e colorate della tinta del fascio.

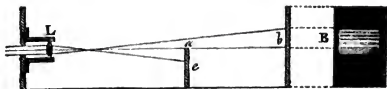



Fig. 443.

In secondo luogo, se con un corpicciuolo di piccolissimo diametro, come sarebbe un capello od un filo metallico sottilissimo, si attraversa il cono di luce semplice, che da un forellino penetra nella camera oscura, l'ombra di questo corpo projettata sopra un diaframma, posto a qualche distanza, si manifesta divisa da frange oscure e luminose, tanto più ampie quanto più sottile è il corpicciuolo, fra le quali havvene una nel mezzo che supera tutte le altre per la vivacità. Alla produzione di queste frange interne è necessario il concorso d'ambedue i sistemi di raggi luminosi che lambiscono i due lati del filo; giacchè esse scompajono totalmente, allorchè s'intercetta uno di questi sistemi.

Finalmente, sostituendo al capello od al filo metallico sottilissimo una laminetta, nel cui centro sia praticato un forellino ret-

tangolare o rotondo, esternamente e nell'interno dell'imagine appajono frange oscure e luminose, parallele ai due lati maggiori del rettangolo, o concentriche alla circonferenza del circolo. La linea media nell'imagine rettangolare ed il centro nell'imagine circolare sono luminosi od oscuri, secondo la grandezza del foro e la distanza del diaframma. Che se accanto al primo foro circolare nella lamina intermedia se ne faccia un secondo, separato da quello per uno o due millimetri, e si ricevono le due imagini a tale distanza che gli anelli lucidi corrispondenti alle imagini stesse vengano in parte a soprapporsi, nel segmento lenticolare l'oscurità è maggiore che non nelle due lunule.

I varii colori dello spettro danno luogo agli stessi fenomeni, ma colla differenza che le frange sono tanto più vicine e numerose quanto più rifrangibile è la luce. La luce violacea produce le frange più fitte, e la rossa forma frange separate da maggiori intervalli. Quando si esperimenta colla luce bianca, come abbiamo supposto nel primo caso, si ottengono anche frange diversamente colorate, nelle quali il violetto è all'interno, cioè dalla parte della retta che partendo dal punto luminoso passa pel lembo del diaframma, e pel mezzo del filo o pel centro del foro.

Questi fatti provano che la luce aggiunta alla luce può produrre l'oscurità, e che essa può essere decomposta anche per diffrazione. Per darne una completa spiegazione si ammette il principio delle interferenze, che cioè *due raggi o due sistemi di onde luminose quando si soprappongono, s' indeboliscono o si rinforzano allo stesso modo delle onde sonore, secondochè i movimenti delle particelle che li costituiscono sono contrarj o cospiranti.* Facciamo l'ipotesi che due sistemi di ondulazioni della stessa lunghezza ed intensità si propaghino secondo una direzione unica. È manifesto che se uno dei due sistemi precede l'altro di un numero pari di mezze ondulazioni, ambedue imprimono alle stesse molecole eteree velocità eguali e dirette nel medesimo verso, e per conseguenza le escursioni delle particelle vibranti si raddoppieranno. Se invece uno de' due sistemi ritarda, in ordine all'altro, di un numero dispari di mezze ondulazioni, ogni particella eterea viene sollecitata da impulsi eguali e contrarj, e per conseguenza le loro velocità si annulleranno. Quando poi le due onde luminose differiscano di una frazione di mezza ondulazione, ovvero le lunghezze e le intensità loro non siano eguali, oppure le loro direzioni non siano precisamente identiche o contrarie, è manifesto che deve accadere un rinforzo od indebolimento nel moto delle molecole vibranti, a seconda della risultante degli impulsi loro comunicati.

Dopo ciò, ognuno s'imagina facilmente che combinando assieme e differenze di ondulazioni e differenze di intensità e direzioni, si potranno ottenere i più svariati effetti. I punti dell'ombra o dell'imagine luminosa, nei quali i sistemi di onde, corrispondenti ai due lati del filo o del foro rettangolare, od alla circonferenza del foro circolare, vengono a soprapporsi, dopo d'aver percorsi cammini eguali, o diversi per quanto è necessario a produrre nei due sistemi la differenza di un numero pari di semiondulazioni, raddoppiano splendore; invece quei punti dell'imagine, nei quali vengono a soprapporsi i sistemi stessi, dopo d'aver percorso spazj che diversificano tra loro in modo che un sistema di onde superi l'altro di un numero dispari di semiondulazioni, divengono oscuri. Le linee luminose od oscure si ripetono ad intervalli eguali, perchè ad intervalli eguali si soprappongono onde luminose che hanno percorse lunghezze tali da differire in un numero pari o dispari di ondulazioni. L'apparizione poi delle frange colorate, nel caso in cui la luce è bianca, dipende da ciò che ogni colore forma frange diversamente ampie e diversamente distanti, le quali pertanto rimangono separate sul diaframma, mostrando il violetto all'interno, cioè dalla parte della frangia centrale, che sola rimane bianca, perchè nel violetto le frange sono separate da intervalli minori.

Per togliere ogni dubbio che l'origine delle frange, che accompagnano la diffrazione, è l'interferenza dei raggi luminosi, Fresnel immaginò la celebre esperienza degli specchi ad angolo, nella quale le frange si formano indipendentemente dalla diffrazione, e per la sola differenza delle vie percorse dai raggi luminosi. Essa consiste nell'unire ad angolo molto ottuso due specchi metallici OM ed ON (fig. 444), e nel dirigere sopra di

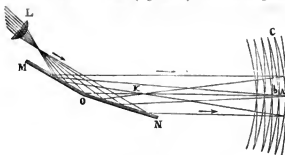



Fig. 444.

essi, posti in una camera oscura, un fascetto luminoso divergente, partente dal fuoco di una lente semicilindrica L. I due fasci

luminosi, che risultano dalla riflessione, s'incontrano fra loro sotto un angolo piccolissimo, e ricevuti a certa distanza in un diaframma bianco, se la luce introdotta nella camera è semplice, vi formano frange alternativamente oscure e colorate della tinta della luce adoperata, e se la luce stessa è bianca, le frange sono iridescenti. In ogni caso esse sono parallele alla linea d'intersezione dei due specchi, e simmetricamente disposte ai due lati del piano OKA, che passa per la linea stessa e per la bisettrice dell'angolo formato dai raggi riflessi. Quando s'intercetta la luce che cade sopra uno degli specchi, le frange scompajono: dunque esse sono dovute alla mutua azione dei due fasci riflessi, alla loro interferenza. In siffatta ipotesi, facile è determinare l'origine di queste frange. I due raggi che s'incontrano al punto A, si troveranno nella medesima fase di vibrazione, e le loro intensità cospireranno. Parimenti i raggi che s'incontrano in *c* saranno cospiranti, perchè la differenza di fase di questi raggi è eguale ad A*b*, ad una ondulazione, ossia a due mezze ondulazioni. Ma i raggi che s'incontrano al punto di mezzo fra A e *c*, si elideranno, perchè differiscono di una mezza ondulazione. In A ed in *c* avremo pertanto una striscia luminosa, e nel punto medio una striscia oscura. Lo stesso avverrà all'altro lato di A, e così nel piano della figura si avrà una serie di striscie luminose, separate da striscie oscure.

Arago ha fatto passare il fascio riflesso da uno degli specchi attraverso ad una lamina di vetro a facce parallele, e trovò che tutte le frange venivano spostate verso destra o sinistra di una quantità che aumentava collo spessore della lamina. L'illustre esperimentatore dedusse da questo fatto che la reciproca azione dei raggi luminosi viene modificata dalla sostanza che essi attraversano, e che la luce si propaga nel vetro con una velocità minore di quella che ha nell'aria.

I descritti fenomeni di diffrazione sono fecondi delle più belle conseguenze, e provano quanto asseriva da principio sulla diversa lunghezza delle ondulazioni corrispondenti ai diversi raggi semplici. La lunghezza, che chiameremo *l*, di una ondulazione, è eguale alla distanza A*b*, e questa, considerando la figura mistilinea A*bc* come un triangolo rettangolo in *b*, è rappresentata da A*c* . Sen. A*cb*. Quindi, per conoscere la lunghezza di una ondulazione, basterà misurare la distanza A*c* e l'angolo A*cb*.

Da ciò consegue che *l* è proporzionale ad A*c*; e siccome le frange sono tanto più fitte, ossia la loro distanza A*c* è tanto più piccola quanto maggiore è la rifrangibilità dei raggi, così le ondulazioni saranno tanto più piccole quanto maggiore è la rifran-

gibilità dei raggi ai quali appartengono: le lunghezze delle ondulazioni, cioè, andranno diminuendo dai raggi rossi ai violetti.

Fresnel, avendo misurato con precisione gli intervalli fra due frange consecutive, calcolò le lunghezze delle ondulazioni dei diversi raggi colorati.

Nella tavola seguente sono esposti i principali risultati dei calcoli di Fresnel.

Righe e colori	Lunghezza delle ondulazioni in milionesimi di millimetro	Righe e colori	Lunghezza delle ondulazioni in milionesimi di millimetro
Rosso estremo	738	Verde medio	512
Riga B	688	Riga F	484
» C	656	Turchino medio	475
Rosso medio	620	Indaco medio	449
Riga D	589	Riga G	429
Ranciato medio	583	Violetto medio	423
Giallo medio	551	Riga H	393
Riga E	526	Violetto estremo	369

Conoscendosi la lunghezza delle ondulazioni corrispondenti ai diversi raggi semplici, è facile calcolare anche il numero delle loro vibrazioni. A questo scopo basta dividere lo spazio percorso dalla luce in un minuto secondo per la lunghezza di ciascun'onda. Si ottengono così i numeri espressi nella tavola seguente.

Colori	Numero delle vibrazioni per ogni secondo in trilioni	Colori	Numero delle vibrazioni per ogni secondo in trilioni
Rosso medio	497	Turchino medio	648
Ranciato »	528	Indaco »	686
Giallo »	529	Violetto »	728
Verde »	601		

Da questa tavola si può inferire che a produrre in noi la sensazione della luce, ossia a scuotere sensibilmente il nervo ottico, è necessario il concorso di un gran numero di vibrazioni; giacchè l'esperienza c'insegna che una impressione luminosa, anche

assai viva, per essere sensibile deve durare almeno qualche centesimo di secondo. Il numero delle vibrazioni corrispondenti ai raggi luminosi è probabilmente la causa della diversità di colore che manifestano; di modo che il colore nella luce equivale all'altezza nel suono. I limiti però di sensibilità per l'occhio, come appare dalla tavola precedente, sono molto più ristretti di quelli relativi all'orecchio.

463. **Spiegazione d'alcuni fenomeni.** Gli esposti principj ci danno ragione di alcuni curiosi fenomeni, facili ad essere osservati, quali sono lo spostamento e la colorazione degli oggetti veduti attraverso i prismi, la colorazione delle lamine sottili, gli spettri dei reticoli e gli anelli colorati di Newton.

Oggetti veduti attraverso i prismi. Quando con un prisma si guarda un corpo chiaro, esso appare colorato delle tinte dello spettro nelle parti del suo contorno parallele agli spigoli del prisma. Questo fenomeno dipende dalla ineguale rifrangibilità dei raggi luminosi irradiati dal corpo. Per esempio, una lista assai stretta di carta bianca (fig. 436), incollata sopra un cartone nero, veduta traverso ad un prisma, i cui spigoli le siano paralleli, mostra tutte le tinte dello spettro, tra le quali la violetta è la più deviata verso il vertice del prisma. In questo esperimento la luce bianca, riflessa dalla lista di carta, è decomposta al suo passaggio nel prisma, ed i raggi luminosi sono diversamente deviati verso la base in ragione della loro rifrangibilità, e per conseguenza l'occhio che li riceve percepisce ognuno di questi colori tanto più elevato verso il vertice quanto più è rifrangibile: la tinta violetta, che è la più rifrangibile, trovasi deviata più delle altre, epperò sembra più rialzata.

Mettete, in luogo della listerella strettissima, una lista un po' larga. Allora tutta la parte di mezzo rimane bianca, e si veggono colorati soltanto i lembi paralleli agli spigoli del prisma; il più vicino al vertice ha la tinta violetta, mista di turchino e d'indaco, ed il più vicino alla base la rossa, mista di ranciato e di giallo. Per spiegare questo fenomeno bisogna imaginare la lista di carta divisa in una serie di liste parallele molto strette. Ciascuna di queste liste, ossia ognuno di questi elementi lineari della lista di carta, darà, come nel caso precedente, uno spettro perfetto. La posizione però di questi spettri non è identica. Il secondo è un po' al dissotto del primo, il terzo al dissotto del secondo, e così di seguito: ne risulta una soprapposizione successiva di tutti i colori semplici, la quale produce il bianco; ma verso i lembi, paralleli agli spigoli, non essendovi soprapposizione esatta, restano affatto isolati il violetto

da un parte ed il rosso dall'altra. Se la lista è nera su di un fondo bianco, troviamo che essa è orlata di colori disposti in ordine inverso. Ma ciò non deve far meraviglia; giacchè in questo caso il corpo chiaro è il fondo, quindi i colori non sono orli della lista nera, ma del campo bianco.

Quando la lista ha colore proprio, si manifestano ancora le frange; ma presentano colori che dipendono dalla mescolanza dei raggi irradiati dalla medesima lista. E se dessa è assai larga, fra i due lembi iridiscenti, paralleli agli spigoli del prisma, si scorge uno spazio della tinta ordinaria. Questo principio ha suggerito il mezzo di analizzare i colori dei corpi. Si verificò che ordinariamente tutti corpi sono composti. I petali dei fiori, per esempio, danno sempre uno spettro che presenta parecchi colori dello spettro solare.

Colori delle lamine sottili — anelli di Newton. I corpi trasparenti, ridotti a lamine abbastanza sottili, si mostrano colorati di vivacissime tinte, specialmente quando son veduti per riflessione. Le sostanze di struttura lamellare, come la mica, il solfato laminare di calce, ecc., offrono questo fenomeno. Lo stesso avviene della madreperla e del vetro soffiato in bolle estremamente sottili. Anche una goccia d'olio o d'essenza di trementina sparsa sopra l'acqua mostra tutte le tinte dello spettro in un ordine costante; ed una bolla d'acqua saponata, che dapprima sembra bianca, a misura che si gonfia e diviene esile, si veste di vaghissimi colori, disposti in zone orizzontali concentriche intorno al vertice, il quale diventa nero al momento in cui non ha più grossezza sufficiente per riflettere la luce, ed allora la bolla scoppia. Il ferro, l'acciajo, la latta, il rame fortemente scaldati, ed il piombo, lo stagno, il bismuto fusi sono capaci di produrre analoghi colori.

Nè siffatti colori si veggono solamente per riflessione, ma anche per trasmissione. Se attraverso di una lamina sottile e trasparente si guarda la fiamma di una candela o qualunque altro corpo luminoso, appariscono spesso i colori complementari di quelli che si veggono per riflessione.

Un fenomeno dello stesso ordine dei precedenti è quello degli *anelli colorati* osservati per la prima volta da Newton. Quando sopra un vetro piano se ne colloca un altro leggermente convesso (fig. 445), e si espongono alla luce del giorno in posizione da poterli vedere per riflessione, nel punto di contatto si osserva una macchia oscura (fig. 446), cinta da

Fig. 445.

Fig. 446.

parecchi anelli concentrici, variamente colorati, e tanto meno splendidi quanto più si allontanano dal centro comune. Se la luce che cade sui due vetri è semplice, la macchia nera è circondata da anelli alternativamente oscuri e colorati della tinta della luce incidente. La larghezza di questi anelli è in ragione inversa della rifrangibilità dei raggi, di modo che è massima colla luce rossa, e minima colla violacea. Se poi si vede per trasmissione il sistema di questi due vetri, il fenomeno è inverso. Il centro è luminoso, ed i colori degli anelli sono complementari di quelli osservati per riflessione. Colla luce semplice si hanno gli anelli colorati al posto degli anelli oscuri nella riflessione; ed invece quando si usa la luce bianca il centro è bianco, e al posto di ogni anello colorato per riflessione se ne osserva un altro del colore complementare. Allo stesso modo in certi cristalli appariscono i colori dell'iride a cagione di piccole bollicine d'aria intercette fra le lamine cristalline. Newton misurò i diametri degli anelli dei differenti ordini, formati da luce semplice, ed ha constatate le leggi seguenti. 1.° I quadrati dei diametri degli anelli lucidi visti per riflessione stanno fra loro come la serie dei numeri dispari 1, 3, 5...; ed i quadrati dei diametri degli anelli oscuri stanno fra loro come la serie dei numeri pari 0, 2, 4.... 2.° I quadrati dei diametri degli anelli lucidi visti per trasmissione stanno fra loro come la serie dei numeri pari 0, 2, 4...; ed i quadrati dei diametri degli anelli oscuri stanno fra loro come la serie dei numeri dispari 1, 3, 5.... Queste leggi sono geometricamente collegate agli spessori dei diversi anelli, e si possono esprimere anche in altra maniera, cioè dicendo che: 1.° gli spessori che corrispondono agli anelli lucidi dei diversi ordini stanno fra loro come i numeri dispari 1, 3, 5...; e 2.° gli spessori che corrispondono agli anelli oscuri dei diversi ordini stanno fra loro come i numeri pari 0, 2, 4....

La colorazione delle lamine sottili e l'origine degli anelli colorati di Newton, è un effetto dell'interferenza dei raggi luminosi riflessi al dissopra con quelli riflessi al dissotto della superficie della lamina o dello strato d'aria compreso fra i due vetri, ovvero dei raggi trasmessi direttamente dalla lamina o dal sistema dei due vetri con quelli trasmessi dopo due riflessioni consecutive. Le due superficie riflettenti nei metalli scaldati o fusi sono la metallica e quella dello stratarello di ossido che si forma su quelle superficie sottomesse all'azione del calorico. La languidezza dei colori, in questo caso ed in quello in cui sono formati per trasmissione attraverso una lamina trasparente, di-

pende dalla grande differenza d'intensità dei due sistemi di onde che li producono.

Negli anelli colorati di Newton l'uniforme incremento di spessore nello strato d'aria, tutto attorno al punto di contatto dei due vetri, è la causa della loro forma circolare, della loro successiva e regolare riproduzione, e delle circostanze particolari che accompagnano questo vago fenomeno. La macchia nera che si vede per riflessione al centro del sistema dipende da ciò che in quel punto, essendo nullo lo spessore dell'aria, non havvi differenza alcuna fra le vie percorse dalle due onde riflesse, le quali pertanto in seguito discordano totalmente.

Spettri delle reticelle. La *reticella* od il *reticolo*, in ottica, è un sistema di righe alternativamente opache, trasparenti e vicinissime, atto a produrre il fenomeno della diffrazione. Tale è quello che si ottiene incollando sopra una lastra di vetro parecchi fili sottilissimi, tesi l'uno accanto all'altro e paralleli; ovvero solcando, a punta di diamante, una lastra di vetro, in maniera che sulla lunghezza di un millimetro si contino almeno 40 tratti opachi, equidistanti e paralleli tra loro. Questi reticoli sono a *maglie parallele*, ma se ne formano anche a maglie *quadrate*, *circolari*, ecc.

Quando si guarda, con un reticolo a maglie parallele, la luce trasmessa da un piccolo foro nella camera oscura, ovvero la fiamma di una candela, da una parte e dall'altra della fessura o della fiamma appariscono due spazj oscuri, seguiti da due spettri che hanno il rosso all'esterno ed il violetto all'interno. Appresso a questi due spettri succedono altri due spazj oscuri, meno larghi dei primi, ed in seguito altri spettri, aventi tutti i colori disposti nel medesimo ordine. Un fenomeno analogo accade guardando la fiamma di una candela attraverso agli strettissimi intervalli d'una piuma fina d'uccello, o d'una stoffa di tessuto fittissimo collocata vicino all'occhio.

Gli spettri dei reticoli sono essi pure l'effetto di una interferenza fra le diverse onde che passano negli intervalli trasparenti. Con differenti reticoli si possono ottenere i più curiosi fenomeni, soprapponendo gli uni agli altri.

La riflessione può allo stesso modo dar luogo a spettri analoghi. I graziosi colori della madreperla sono prodotti dalla interferenza dei raggi riflessi alle finissime strie, che ne solcano la superficie. Alla stessa cagione riferiscono i fisici la colorazione delle ali di certi insetti, delle conchiglie, ecc.

464. Aberrazione di rifrangibilità — e acromatismo. Da quanto abbiam detto consegue che un prisma omogeneo od una lente non può mai rifrangere la luce senza scomporla, e per conseguenza che le imagini vedute attraverso di un mezzo omogeneo prismatico o lenticolare, saranno sempre screziate di frange variopinte che ne turberanno più o meno la nitidezza. Questo difetto dei prismi e delle lenti si appella *aberrazione di rifrangibilità,* ed è tanto più sensibile quanto è maggiore l'angolo che fanno tra loro le facce d' incidenza e d' emergenza: quindi apparisce che l'imagine prodotta da una lente omogenea sarà tanto meno netta e precisa quanto è maggiore la sua convessità, e quanto più i punti d'incidenza dei raggi si allontanano dall'asse della lente.

Fino dai primi tempi in cui si conobbero le proprietà dei prismi e delle lenti, i fisici tentarono di ottenere la rifrazione senza la dispersione della luce. Newton studiò il problema; ed ammettendo che la dispersione era proporzionale alla rifrazione, conchiuse che l' uno di questi due fenomeni doveva costantemente accompagnare l'altro. Ma in seguito Hall costrusse cannocchiali, che rifrangevano la luce, senza decomporla; e Dolond dimostrò che ponendo una lente biconvessa di crown accanto ad una concavo-convessa di flint, si ottiene la deviazione della luce, senza la decomposizione. L' arte di raggiungere questo intento dicesi *acromatismo;* ed *acromatici* si dicono i prismi e le lenti che rifrangono la luce, senza produrre l'aberrazione di rifrangibilità.

L' acromatismo dipende dal principio che il potere rifrattivo di una sostanza fortunatamente non è proporzionale al suo potere dispersivo. Il potere rifrattivo è espresso dall'indice medio di rifrazione (cioè dall'indice di rifrazione corrispondente ai raggi gialli); ed il potere dispersivo lo è dalla differenza fra gli indici corrispondenti ai raggi estremi dello spettro (cioè al più ed al meno rifratto). Si potrebbe anche dire che il potere rifrattivo è misurato dall' angolo di deviazione, ed il potere dispersivo dall'angolo al vertice del cono luminoso emergente. Se pertanto si uniscono assieme due sostanze diverse in modo che gli effetti della dispersione si abbiano ad elidere, senza che si distruggano le azioni delle facoltà rifrattive, si avrà un sistema acromatico. In pratica per ottenere un prisma siffatto, ad un prisma BCF (fig. 447) di vetro comune, se ne unisce un altro CFD di flint, coll'angolo rifrangente volto dalla

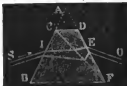



Fig. 447.

parte opposta, e minore di quello del vetro comune. L'indice di rifrazione del flint supera di poco quello del vetro; ma il poter dispersivo della prima sostanza è quasi doppio di quello della seconda. Quindi i due prismi ne formano un terzo BAF, in cui l'effetto della rifrazione non è distrutto, sebbene i raggi emergenti siano fra loro paralleli. Si avverta però che il rapporto degli angoli BCF e CFD, che producono, per esempio, il parallelismo dei raggi rossi e violetti, non è quello opportuno per rendere paralleli i raggi intermedj. Ne consegue pertanto che con due prismi soli non si può ottenere un sistema perfettamente acromatico; ma a questo effetto bisognerebbe adoperare sette prismi diversi. Tuttavia l'esperienza mostra che quando gli angoli dei due prismi sono assai piccoli, se rendonsi paralleli i raggi azzurri e ranciati, anche gli altri colori vengono sensibilmente neutralizzati.

Allo stesso modo si può ottenere un sistema acromatico con due lenti di sostanze inegualmente dispersive: l'una A (fig. 448) di flint è concavo-convessa divergente, e l'altra B di crown è biconvessa, ed una delle sue facce si adatta esattamente alla faccia concava della prima. Nelle lenti, come nei prismi, si richiederebbero sette vetri per ottenere un sistema perfettamente acromatico; ma per tutti gli stromenti d'ottica, si suole adoperarne due soli, dando loro la curvatura necessaria perchè i raggi azzurri coincidano coi ranciati.

Fig. 448.

ARTICOLO SECONDO

DECOMPOSIZIONE DELLA LUCE PER ASSORBIMENTO.

465. **Mezzi colorati.** Alcuni corpi diafani hanno la proprietà di colorire la luce bianca che li attraversa, in modo tanto più pronunciato quanto più grande è il loro spessore: tali sono i vetri ed i liquidi colorati. Si spiega un siffatto fenomeno ammettendo che questi mezzi assorbiscono in differenti proporzioni i diversi raggi componenti la luce bianca; e quindi appajono del colore di quei raggi che trasmettono in maggior quantità. Così il vetro rosso è quello che dei raggi rossi ne assorbe una quantità minore che non degli altri; e il somigliante si dica in generale d'ogni corpo che offra colori per luce trasmessa. I raggi che passano da questi corpi d'ordinario sono composti; ma ta-

lora sono anche semplici, come quelli trasmessi da una lamina di vetro d'un millimetro di spessore, che contenga un ossido di cobalto o di rame. In questo caso il mezzo è opaco per tutti gli altri raggi. Due corpi, ciascuno dei quali non trasmetta che un colore semplice, soprapposti formano un sistema opaco; poichè la luce che passa il primo non è trasmessa dal secondo, e viceversa. Che questi corpi poi, ridotti a gran sottigliezza, perdano il colore, come è notissimo, si capisce facilmente, poichè uno strato così sottile non può assorbire se non pochissimo della luce che vi entra, e perciò la luce passata per esso rimane ancora composta quasi precisamente come la luce ordinaria. Che all'incontro ingrossando questi corpi, il colore diventi sempre più carico ed alla fine il corpo medesimo pieghi all'opaco, anche questo è ben naturale; poichè, allungandosi il tragitto della luce, dapprima si estinguono quei colori che la sostanza assorbe in maggior quantità, e si fa così più manifesto il colore meno assorbito, poi finalmente anche questo si estingue, ovvero viene indebolito a segno che non fa più impressione sull'occhio.

Apparisce di qui come non sia necessario, perchè un mezzo non abbia colore, che esso lasci passare tutta la luce bianca incidente, ma basta che trasmetta nelle medesime proporzioni tutte le specie dei raggi colorati: la luce bianca che traversa un mezzo siffatto è diminuita, ma non modificata. I corpi diafani incolori si dicono *acroici*. In natura però non vi sono mezzi perfettamente acroici, perchè qualsiasi sostanza diafana, aumentando di spessore, mostra una tinta. Anche l'acqua e l'aria modificano il colore della luce che passa per esse.

Non è però a credere che questo fenomeno che i fisici chiamano assorbimento della luce, sia davvero un assorbimento come di un fluido in un corpo spugnoso, oppure sia un annullamento di forza, ma è una cessione di forza viva fatta dall'etere alle molecole del corpo. Quando dicesi che i raggi nè trasmessi nè riflessi da un corpo sono da esso assorbiti, si vuol significare che questi raggi cessano di agire come luce. Non si annullano però, ma solo si trasformano in movimenti d'altra specie, incapaci di agire sull'organo della vista. I corpi *opachi* sono quelli che assorbono tutta la luce che non riflettono, ossia che trasformano in altri tutti i movimenti dell'etere atti a fare impressione sull'organo della vista; i corpi *diafani colorati* sono tali che assorbono o trasformano soltanto alcune specie dei raggi che non riflettono; ed i corpi diafani *acroici* invece trasmettono, ossia non trasformano in altri movimenti, tutti i raggi non ri-

flessi, o, se pure ne assorbono o ne trasformano, lo fanno per tutti nello stesso rapporto.

La proprietà che hanno i corpi di trasmettere o no, oppure di trasmettere le une piuttosto che le altre onde luminose, non dipende dalla natura dei loro atomi, ma dal modo di aggregazione di questi, ossia dalle posizioni e distanze relative degli atomi stessi. Di fatto molti sali che amorfi e polverizzati sono opachi, cristallizzati trasmettono alcune ed anche tutte le specie di onde luminose; e molte soluzioni trasparenti danno per trasmissione diverso colore secondo la spessezza o il grado di concentrazione. Il carbonio cristallizzato è trasparente, ed amorfo è opaco. Il vapor d' acqua, che sotto la pressione ordinaria dell'atmosfera, in piccole masse, è sensibilmente acroico, chiuso in un vaso e sottomesso a forti pressioni non trasmette che i raggi rossi o verdi. Per conseguenza il calorico, che spesso altera l'aggregazione molecolare dei corpi, in qualche caso ne modifica anche la trasparenza. Qualche minerale trasparente alla temperatura ordinaria, diviene colorato allorchè è esposto ad un notevole riscaldamento. Al contrario alcuni vetri, che alla temperatura ordinaria trasmettono solamente la luce rossa, a temperature elevate trasmettono la luce verde. Le sottili foglie d'oro, pellucide e verdi alla temperatura ordinaria, divengono acroiche quando sono scaldate, e nello stesso tempo perdono molto del loro poter riflettente. Anche le simili fogliette d'argento, debolmente violacee o porporine alla temperatura ordinaria, se sono scaldate al rosso divengono allo stesso modo acroiche. Le fogliette d'oro del commercio (lega d'oro e d'argento), che d'ordinario trasmettono una luce turchina, la quale può variare colle quantità relative dei metalli che costituiscono la lega, mutano parimenti colore per influenza del calorico. Possiamo qui notare di passaggio una cosa, che per altro conferma, almeno indirettamente, il nostro assunto, ed è questa. La luce trasmessa dalle foglie d'oro, d'argento, o della lega di questi due metalli, come osservò Melsens all'Accademia di Parigi nel 1.º ottobre del corrente anno, è più viva e nondimeno più aggradevole e meno faticante di quella trasmessa dai vetri neri, o verdi oscuri, che si adoperano come occhiali nel caso di fotofobia. Quindi lo stesso dotto propone che in simili circostanze ai vetri suddetti si sostituiscano queste fogliette metalliche.

Policroismo. Varie sostanze trasparenti hanno questo di singolare che variano di tinta collo spessore. A questo fenomeno si dà il nome di *policroismo,* o *molteplicità di colore.* Anche di

questa curiosità la teoria di Newton dà completa ragione. Se il mezzo diafano trasmette tutti od alcuni dei raggi colorati con diversa facilità, è chiaro che, aumentando la grossezza di questo corpo, l'intensità dei raggi trasmessi in minor quantità diminuisce più rapidamente che non quella degli altri, e quindi il colore risultante dalla mescolanza di questi ultimi deve variare; ed anzi potrà giungere un punto in cui non passino che i raggi di una specie sola.

Mezzi dicromatici. Vi è poi qualche corpo che presta eguale passaggio a due specie di raggi. Desso, quando abbia aumentato tanto di spessore da non trasmettere che queste due sole onde luminose, presenta un colore che è il risultato dei due trasmessi. Herschel propose di chiamar *dicromatico* ogni mezzo che gode di questa proprietà.

466. **Colorazione del sole presso l'orizzonte.** Il sole quando è vicino all'orizzonte appare di una tinta ranciata, più o meno carica, perchè i diversi raggi luminosi, che attraversano obliquamente l'atmosfera, sono da questa assorbiti in proporzione differente, ed in grande quantità; il che non avviene quando il sole è vicino alla nostra verticale. Di fatto lo splendore del sole all'orizzonte è tanto debole che l'occhio può fissarne facilmente il disco; e lo spettro solare ottenuto in questa circostanza è privo dei raggi estremi del violetto, manifesta una perdita sensibile nel turchino, nel verde e nel giallo. I vapori acquei che abbondano quanto mai negli strati inferiori dell'atmosfera, contribuiscono essi pure alla colorazione del sole presso l'orizzonte. Per conseguenza alla sera, avvenendo sempre una condensazione dei vapori atmosferici, il colore del sole è rosso pronunciato; mentre alla mattina, essendo l'aria meno carica di vapori, il sole appare colorito in giallo d'oro.

467. **Righe dello spettro solare.** Parve a Newton che la luce fosse diffusa in tutta l'estensione dello spettro solare, di modo che egli ammise l'esistenza dei raggi luminosi d'ogni grado di rifrangibilità. Ma noi abbiam già accennata una circostanza sfuggita a quel fisico, ed è che in ciascuno dei diversi colori dello spettro solare si osservano lacune o linee oscure, normali alla lunghezza dello spettro, dette *frange* o *righe* dello spettro. Il primo ad avvertire questo fenomeno fu Wollaston nel 1802. Cinque anni dopo Fraunhofer lo constatò di nuovo e con maggior esattezza. Egli distinse più di 600 di queste righe; ne segnò le otto principali, che pertanto si appellano le righe di Fraunhofer, nominandole, a partire dall'estremità rossa dello spettro, colle prime

otto lettere majuscole dell'alfabeto. Le prime tre (fig. 449) sono nel rosso, la quarta nel ranciato, la quinta nel verde, la sesta nel turchino, la settima nell'indaco e l'ottava nel violetto. Le altre righe moltissime o formano gruppi serrati, o sono più o meno disperse e inegualmente distribuite nei differenti colori. Fra esse meritano particolare attenzione due altre: l'una *a* posta nel rosso, formata da otto linee assai sottili, e l'altra *b* situata nel verde, vicina ad E, e composta di tre linee strettissime, delle quali le due più distinte sono separate da uno spazio brillantissimo.

Fig. 449.

Modo di osservare le righe dello spettro. Varj sono i modi per osservare queste righe; non citeremo che il più facile. Per una fessurina verticale della larghezza di un millimetro o poco più, si introduce nella camera oscura un fascio di raggi solari, ed alla distanza di tre o quattro metri si guarda lo spazio chiaro della apertura attraverso ad un prisma di flint, privo affatto di striscie, e disposto verticalmente. In seguito si fa rotare a poco a poco il prisma, finchè appajono nettamente le righe, parallele agli spigoli del prisma e disposte nella maniera la più regolare: ciò avviene quando il prisma è prossimo alla deviazione minima. Per distinguere le frange del violetto è d'uopo avvicinare l'occhio al vertice del prisma, ed inoltre lo spettro vuol essere rischiarato al vivo: la luce del disco solare leggermente velato dalle nubi è molto opportuna a questa osservazione. Onde scorgere le righe degli altri colori il prisma dev'essere meno lontano dal minimo di deviazione che pel violetto, ed è bene che anche la chiarezza dello spettro sia minore: in questo caso la luce diffusa dall'atmosfera, che penetra direttamente nella camera è la più conveniente. Del resto la posizione più favorevole del prisma non è affatto la stessa per i diversi osservatori: essa sembra dipendere dalla conformazione dell'occhio.

Se guardasi lo spettro con un cannocchiale acromatico si possono contare parecchie migliaja di righe.

Carattere delle righe dello spettro. L'aspetto, l'ordine ed i rapporti delle distanze delle righe principali non mutano, per una medesima sorgente luminosa, e per un prisma della medesima sostanza, al variare dell'angolo rifrangente. Se la sostanza del prisma cangia, le distanze relative delle righe vengono alterate, come sono modificati gli spazj occupati dai diversi colori; ma il loro numero, la loro forma e il loro processo non soffrono modificazione alcuna.

Un'altra circostanza particolare delle righe nello spettro è la variabilità delle moltissime che si possono chiamar secondarie. Oltre alle principali se ne scorge una moltitudine d'altre che non hanno posizione fissa, anche quando la sostanza del prisma non muta, ed il cui numero varia coll'altezza del sole e collo stato dell'atmosfera. Nei giorni umidi, ed essendo il sole presso all'orizzonte, le righe che appajono di nuovo nello spettro si moltiplicano a segno da produrre, specialmente nel rosso, nel giallo e nel ranciato, delle ampie zone oscure.

Quando poi la sorgente luminosa non è il sole, le righe principali non sono più le stesse nè pel colore, nè pella posizione: anche il loro numero aumenta o diminuisce. Così negli spettri che si ottengono dalle scintille elettriche si osservano bellissime righe, ora oscure ed ora lucide, che variano colle sostanze fra le quali le scintille stesse debbono scoccare. Se le scintille spiccano da due fili di rame, le righe appariscono nel rosso, nel verde e nel violetto; se da altri di magnesio, le righe si manifestano nel rosso, nel verde e nell'azzurro, ecc. Si notano le stesse variazioni negli spettri prodotti dalla combustione dei diversi corpi.

468. **Cause delle righe degli spettri**. Ora dobbiamo esaminare la causa delle righe descritte. La questione ha ricevuto un notevole sviluppo in questi ultimi tre o quattro anni. I fatti che servono di principio alla soluzione di essa sono i seguenti.

1.° *Lo spettro dei corpi solidi incandescenti sono privi di righe.* Un filo di platino, un carbone, ecc., in semplice incandescenza, cioè nel caso in cui non producono vapori, o per lo meno ne producono di trasparenti ed incolori, visti con un prisma, mostrano uno spettro senza frange. Queste riappariscono, quando dal corpo incandescente si sviluppano densi vapori colorati, o facili a condensarsi.

2.° *Lo spettro delle fiamme presenta righe brillanti.* Desse hanno generalmente il colore del posto che occupano nello

spettro, e sembrano prodotte dalla soprapposizione di alcuni raggi delle parti vicine, alle quali si sottraggono, aumentando così in due modi lo splendore dei punti di loro incrocicchio sopra le parti circostanti, cioè mancando in queste ed apparendo in quelli. I metalli in istato di combustione elettrica, od anche abbruciati alla fiamma ordinaria di una lampada ad alcool danno spettri con righe brillanti particolari. Quello che più riesce sorprendente è che queste righe d'ordinario sono isolate e caratteristiche del corpo in combustione: il sodio dà una bella riga gialla, il litio una rossa, il tallio una verde, ecc. Quando parecchi di questi metalli sono contemporaneamente introdotti in una fiamma, ciascuno di essi produce le righe che lo caratterizzano, come se fosse solo.

3.° *I gas colorati concorrono alla produzione delle righe nere.* Quando un fascio di luce solare prima d'incontrare il prisma, attraversa un vapore colorato, che aumenti successivamente di densità, si manifestano ben presto nuove righe nere, deboli da principio e difficili a distinguersi, anneriscono in seguito, e finiscono coll'impedire di distinguere le righe dirette dello spettro solare. Si osserva che questi due sistemi sono indipendenti fra loro, se eccettuasi il caso in cui si adopera l'acido ipo-azotico. Allo stesso modo appariscono le righe nere nello spettro di un corpo incandescente, se il fascio luminoso che lo produce proviene da un'atmosfera colorata.

4.° A compimento di questa teorica aggiungiamo ancora una cosa, ed è *il rovesciamento dello spettro*. Le facoltà di emettere e di assorbire i raggi sono correlative, cioè i raggi assorbiti dal vapore di una sostanza sono quelli stessi che la sostanza medesima irradia quando è luminosa. Così se fra una sorgente di luce ed il prisma si interpone una massa di vapore di sodio, apparisce nello spettro una riga nera al luogo della gialla che si ottiene dalla combustione del sodio. Questo fatto è conosciuto sotto il titolo di *rovesciamento dello spettro*.

Vediamo ora di applicare questi principj alla spiegazione delle frange, che interrompono la continuità dei colori nello spettro solare. I fisici pensano che il sole sia composto da una parte centrale, che si chiama *nucleo*, e da una parte superficiale, denominata *fotosfera*: il nucleo può essere solido, liquido o gasoso, e la fotosfera è gasosa e più luminosa del nucleo. Se si suppone che il nucleo solare emetta raggi di ogni lunghezza, ossia dia uno spettro continuo, é chiaro che alcuni di questi raggi verranno assorbiti dalla fotosfera, per cui devono passare prima di arrivare a noi, e saranno quelli che i corpi costituenti della fotosfera invierebbero in maggior quantità qualora fossero in com-

bustione; così il vapor di sodio assorbirà certi raggi gialli, il tallio certi altri verdi, il litio alcuni rossi, ecc., di determinata rifrangibilità, pari a quelli che si spiccano in maggior abbondanza da questi metalli quando abbruciano.

Che se, per ipotesi, il sole non irradiasse luce di ogni rifrangibilità, allora alcune delle righe nere si dovrebbero attribuire ad una attuale mancanza dei raggi corrispondenti nella sorgente luminosa, ed altre all'assorbimento della fotosfera.

Ma, oltre a queste due cause, anche l'atmosfera terrestre, che è una mescolanza di gas capaci di assorbire alcuni raggi luminosi, concorre alla produzione delle righe nere nello spettro solare. Di queste righe alcune sono solamente rinforzate, ma altre sono davvero prodotte dalla massa gasosa che involge la terra. Ce ne offrono un esempio quelle che stanno presso la riga D, e non poche che si trovano nel rosso, le quali si mostrano con particolare chiarezza quando il sole è presso l'orizzonte, ed invece impiccoliscono moltissimo ed anche scompajono in altre posizioni del medesimo astro. L'azione dell'atmosfera cresce, secondo Tanssen, colla lunghezza dello spazio atmosferico percorso dai raggi luminosi. Non tutte queste righe sono assolutamente nere; ma le une lo sono più o meno delle altre; e quindi divengono diversamente sensibili secondo la differenza degli assorbimenti subiti. Che poi l'atmosfera debba poter produrre tale assorbimento non riescirà difficile a concepirsi, perchè quantunque si volesse supporre nulla la facoltà assorbente dei componenti principali di essa, resterebbe sempre quella delle altre sostanze mescolate accidentalmente con essa, tra le quali sono conosciuti, come capaci di produrre tali righe, l'iodio, l'acido nitroso, ecc.; e benchè tali sostanze si trovano nell'aria in minime quantità, pure la loro esistenza è certa, ed in molte miglia di tragitto esse possono riescire sensibili. Le variabilità poi indicate dallo Zantedeschi, dal Miller, dal P. Secchi e da altri, specialmente nei tempi cattivi e piovosi, provano che ha una notevole influenza nelle righe anche il vapore d'acqua, che si trova nell'atmosfera; anzi il P. Secchi giunge a dire che lo spettroscopio può considerarsi come uno strumento meteorologico, capace di indicare il grado d'umidità dell'aria.

Due sono pertanto le cause delle righe dello spettro solare, ossia le perdite che soffrono i raggi luminosi partiti dal sole passando nelle masse gasose, che involgono il sole stesso e la terra: vi può esserne una terza, cioè l'attuale mancanza nella luce solare dei raggi di alcune rifrangibilità. Così gli spettri degli

altri corpi luminosi, che popolano gli spazj, producono delle righe, alcune delle quali dipendono dalla loro atmosfera speciale, ed altre dall' atmosfera terrestre. Da qui si possono conoscere non poche delle sostanze che abbruciano nei corpi stessi; si ha un' altra prova che essi hanno luce propria indipendente da quella del sole; e si ha in fine un mezzo per distinguere le righe prodotte dall'aria da quelle dipendenti dall'involucro gasoso del corpo luminoso che si osserva, e così via discorrendo. Le righe che sono l'effetto dell'atmosfera terrestre appajono negli spettri di tutti gli astri, ed invece quelle che si debbono attribuire alla fotosfera del sole sono proprie dello spettro solare, ed in generale non si trovano negli spettri stellari. Dico in generale, perchè può essere benissimo che alcune coincidano; ciò però non impedirà di considerare i due o più sistemi come diversi.

Adunque se, per ipotesi, avessimo a distruggere il corpo d'aria che circonda la terra, scomparirebbero alcune delle righe degli spettri solare e stellari, ed altre diminuirebbero. E quando mancasse anche l'atmosfera solare, allora certamente scomparirebbero tutte quelle righe che dipendono da assorbimento; e se il sole manda raggi di ogni rifrangibilità, il suo spettro sarebbe continuo; ma se alcune delle righe dipendono da reale mancanza dei raggi di qualche rifrangibilità, queste sussisterebbero ancora nella duplice ipotesi. Lo stesso dicasi degli altri spettri.

469. **Analisi spettroscopica**. I fatti precedentemente esposti hanno dato origine ad un nuovo metodo di analisi chimica, quanto facile altrettanto sicuro ed elegante. La scienza è debitrice di questo curioso processo analitico a Kirchoff ed a Bunsen, i quali coronarono le loro prime esperienze colla scoperta del cesio e del rubidio. L'apparato che si adopera in siffatte operazioni chiamasi *spettrometro,* ed è formato di varj prismi di cristallo purissimo, posti dietro ad una lente, che rende paralleli i raggi inviati, attraverso una fessura molto stretta, dalla fiamma di una lampada ad alcool od a gas, nella quale si introduce una piccola porzione del corpo che si vuole analizzare. Dal confronto delle righe che appajono nello spettro dell' esperienza con quelle che si sa essere prodotte dalle sostanze elementari già conosciute, si deduce la composizione del corpo in combustione. La presenza nello spettro di qualche riga diversa da tutte quelle che appartengono ai corpi semplici combustibili conosciuti, è indizio che il corpo in esame contiene qualche nuova sostanza.

L'analisi spettroscopica venne applicata anche ai corpi celesti, e nell'astronomia faremo conoscere alcuni dei principali risultati di questo nuovo metodo di osservazione.

ARTICOLO TERZO

DECOMPOSIZIONE DELLA LUCE PER RIFLESSIONE.

470. **Decomposizione della luce per riflessione.** Abbiam parlato fin qui della decomposizione della luce per rifrazione e per assorbimento. Diciamo ora qualche cosa del medesimo fenomeno che avviene nella riflessione della luce. Quando i raggi luminosi percuotono un corpo: esso assorbisce o trasmette certi colori, e riflette certi altri. Ciò che i prismi e le lenti fanno per rifrazione, tutti i corpi lo fanno per assorbimento e per riflessione.

471. **Colori dei corpi opachi.** Scoperto questo fatto, è facile l'intendere il principio da cui dipende la colorazione dei corpi opachi. A Newton si deve la prima spiegazione razionale di questo fenomeno, giacchè prima di lui non si avevano a questo proposito che idee false, o per lo meno molto vaghe e confuse. Egli ammette che i corpi opachi, decomponendo ordinariamente la luce che arriva alla loro superficie, ne assorbono una parte e ne diffondono un'altra, che è colorata se non è punto composta dei raggi semplici riuniti nelle medesime proporzioni secondo cui formano il bianco. I corpi *neri* assorbono tutta la luce incidente; i corpi *bianchi* sono quelli che riflettono nelle stesse proporzioni tutti i raggi semplici che la compongono. Gli uni e gli altri corpi agiscono nella stessa maniera su tutte le specie di raggi; di modo che i primi sono neri dinanzi a qualunque sorgente luminosa, ed i secondi appajono costantemente della tinta dominante nella luce che li rischiara. Fra questi due estremi si trova una infinità di corpi, che riflettono i diversi raggi colorati in proporzioni differentissime. Così un corpo rosso è quello che riflette principalmente i raggi rossi; un corpo giallo riflette in più grande proporzione i raggi gialli, ecc.

Questa teorica è appoggiata ad un gran numero d'esperienze, dovute, per la maggior parte, a Newton.

1.° Se sopra una superficie bianca si fanno cadere i raggi dispersi da un prisma, ciascun punto di essa riflette la luce che riceve, e sembra del colore di essa. Se la superficie ha una tinta, questa è molto splendida nella parte egualmente colorata dello spettro, ma negli altri colori è pallida, od anche nera.

2.° È facile a chicchessia il constatare che una superficie colorita, rischiarata da un fascio della medesima tinta, presenta lo stesso aspetto di una superficie bianca posta dinanzi ad una luce

identica a quella; ed invece se il colore della sorgente luminosa differisce da quello della superficie colorata, le due superficie presentano generalmente un aspetto diverso. Un tale effetto dipende da ciò che la superficie tinta riflette in proporzioni differenti i raggi che compongono il fascio incidente, mentre la superficie bianca li riflette tutti egualmente.

3.º Un'altra considerazione fatta da Newton è che rischiarando un medesimo corpo colorato con differenti sorgenti luminose, esso presenta successivamente colori diversi. Nickles in una nota presentata all'Accademia delle scienze di Parigi nell'otto gennajo del corrente anno osserva che il percloruro di manganese alla fiamma di una lampada ordinaria sembra nero, e non verde come è quando viene rischiarato dalla luce del sole. Così alcuni corpi, verdi alla luce del giorno, si mostrano turchini a quella di una lampada ad olio od a gas; ed in generale tutti i corpi posti dinanzi a queste luci artificiali non offrono più la ricchezza delle tinte di cui brillano in grazia della luce solare. Un corpo che sembra bianco un po' prima della levata del sole, è turchiniccio a giorno inoltrato. Se esso è bianco alla luce d'una lampada, appare giallo o bruno ai raggi solari. Le tinte brune sembrano molto più chiare alla luce delle candele di cera. Al chiaro della luna la maggior parte degli oggetti assumono tinte diverse da quelle che hanno durante il giorno. Talbot riconobbe che la fiamma di una soluzione alcoolica di cloruro di sodio è sensibilmente monocromatica: essa non emette che raggi gialli. Davanti alla luce di questa fiamma il nostro volto assume una tinta livida. Se colla medesima lampada si rischiara una serie di fascie tinte dei sette principali colori dello spettro, la fascia gialla, la ranciata e la rossa sembrano gialle, e le altre nere o grigie. Il suddetto Nickles, in quella medesima nota di cui abbiamo poc'anzi parlato, fa conoscere ai dotti suoi colleghi il metodo di dipingere uno spettro, le cui tinte ad una fiamma di soda si mostrano bianche o nere. La composizione e l'apparenza di tale spettro sono le seguenti.

Colore alla luce del giorno	Agente colorante	Colore alla fiamma di soda
Rosso	Ocra	Nero
Ranciato	Deuto-joduro di mercurio	Bianco
Giallo	Cromato di piombo	
Verde	Manganato di barite	Nero
Turchino	Bianco d'anilina	

Lo stesso fisico fa eziandio due altre belle osservazioni, che non vogliamo tralasciare. Innanzi tutto egli attribuisce lo scomparire, e per conseguenza anche l'illanguidirsi d'alcuni colori davanti alle fiamme ordinarie, alla presenza di una piccola quantità di soda in queste fiamme medesime. In secondo luogo descrive esperienze fatte da lui stesso, le quali provano che la brillantissima luce del magnesio si comporta in ordine ai composti colorati precisamente come la luce solare; e Chevreul nota che la luce elettrica gode della medesima proprietà.

Tornando al nostro discorso, chi non ravvisa che tutti i cambiamenti di colore, osservati nelle diverse esperienze descritte, dipendono dalla qualità della luce che rischiara il corpo? Di fatti gli spettri di quelle sorgenti luminose dinanzi alle quali i corpi mutano aspetto non sono composti dei medesimi colori nelle stesse proporzioni. Siam così tratti a conchiudere con Newton che i corpi opachi manifestano il colore della luce riflessa.

4.º Chi amasse accertarsi vieppiù di sì importante trovato, osservi altri fenomeni somiglianti. Quando il corpo è trasparente, è chiaro che i raggi che lo attraversano sono quelli che non furono riflessi: la luce trasmessa pertanto e la luce riflessa potranno presentare colori differenti. Il fatto conferma questa previsione teorica. Per esempio, una foglia d'oro colpita dalla luce bianca, lascia passare dei raggi d'un verde turchiniccio, mentre riflette i raggi gialli; e se il colore dei raggi trasmessi è modificato dal calore, è parimenti alterato anche il colore dei raggi riflessi. Halley essendo disceso sott'acqua alla profondità di più metri, in una campana di palombaro, vidde che la sua mano al dissopra, illuminata direttamente dai raggi solari, aveva un color porporino, mentre al dissotto, illuminata dalla luce riflessa dalle parti più profonde dell'acqua, sembrava verde. La bella luce turchina, che illumina l'interiore della grotta nell'isola di Capri, è dovuta ai raggi luminosi che riflessi dall'acqua vi penetrano per l'andito dal quale entrano le barche, e da cui non passa che una piccola quantità di luce diretta. Si potrà credere che il colore per trasmissione debba sempre essere complementare del colore per riflessione; ma è così appena quando il mezzo non assorbe raggio alcuno, ovvero li assorbe tutti nelle proporzioni secondo cui formano la luce bianca. Per esempio, vi sono corpi rossi per riflessione e per trasmissione: questi riflettono una porzione dei raggi rossi incidenti, lasciano passare il rimanente, ed assorbono od estinguono i raggi degli altri colori.

5.º Finalmente, a corona del sin qui detto, ricordiamo che anche il colore d'un corpo opaco varia secondo il modo di aggregazione

delle molecole che lo compongono. Di fatto il calorico manifesta qui pure una notevole influenza. In generale, quando la temperatura di un corpo opaco si eleva, il colore di esso si fa carico; così il cinabro, l'ossido rosso di mercurio, il minio, passano al rosso carminio o al violetto; l'azotato di cobalto passa dal rosso di vino al turchino, ecc. — Alcuni corpi quando sono ridotti in polvere presentano un colore differente da quello che hanno quando sono in massa; perchè cangia il loro potere assorbente luminoso. Vi sono poi dei corpi che cangiano colore, quando si guardano sotto una obliquità differente; ma questo dipende da ciò che la proporzione della luce riflessa specularmente, e per conseguenza anche quella della luce diffusa, cangia coll'incidenza.

Da tutti i fatti accennati potete levarvi ad una conclusione generale che dunque il colore dei corpi dipende dalla attitudine delle molecole, che lo compongono, a concepire una vibrazione piuttosto che un'altra sotto l'impulso della luce da cui viene rischiarato. I corpi bianchi sono quelli nei quali le molecole stanno aggregate in maniera da concepire colla stessa facilità le vibrazioni corrispondenti a tutte le diverse specie di colori elementari. Al contrario nei corpi neri le molecole sono così disposte da essere incapaci di vibrare sincronamente con qualunque specie dei raggi luminosi. Epperò i corpi avranno un colore particolare determinato quando i loro atomi sieno ordinati in maniera da essere atti ad assumere le vibrazioni che producono in noi la sensazione del colore stesso. Il fenomeno della colorazione dei corpi può essere paragonato al fenomeno della risuonanza. A quel modo che una corda risuonante per gli impulsi dell'aria messa in moto dalle vibrazioni di un'altra corda, non rende che il suono corrispondente alla sua propria tensione, così un corpo che diviene luminoso sotto gli impulsi dell'etere messo in moto da una sorgente di luce, non manifesta che il colore o la vibrazione corrispondente allo stato molecolare della sua superficie.

472. **Risultato della mescolanza dei colori**. Abbiam visto che più colori insieme producono un colore differente da ciaschedano, e tutti sanno che i pittori meschiando due o più colori si procacciano un'infinità di gradazioni diverse. Helmholtz ha fatte molte esperienze in proposito, ed ecco i risultati principali che ottenne. 1.° Due colori semplici, per la loro mescolanza, formano un colore composto, che è qualche volta identico con uno dei colori semplici dello spettro, ma che il più delle volte ne differisce sensibilmente. Per esempio, il giallo verdastro e il turchino parimenti verdastro dello spettro danno un verde molto più languido di quello dello spettro. Il verde, il violetto,

e sopratutto il rosso dello spettro, non si possono ottenere esattamente colla mescolanza di due altri colori. — 2.° Un risultato importante è che un colore prodotto dalla riunione di tre colori semplici, è differente da quello che si ottiene combinando l'uno di essi col colore semplice dello spettro simile al risultato della combinazione degli altri due. Per esempio, i tre colori semplici rosso, verde ed indaco, danno il *bianco;* invece combinando il rosso col verde-turchiniccio dello spettro, che è simile al risultato della mescolanza del verde coll'indaco, si ottiene il *giallo*. — 3.° Molte combinazioni di tre colori sono *bianche*. — 4.° È impossibile, con tre colori solamente, avere tutte le tinte dominanti nello spettro; ma fa d'uopo servirsi almeno di cinque, cioè del rosso, del giallo, del verde, del turchino e del violetto. Vi si può riescire con qualche approssimazione mescolando tre polveri colorate in rosso, giallo e turchino, o meglio in rosso, verde e violetto; ma non si ottengono che delle imitazioni imperfettissime.

Newton ha formulata una bella e facile regola geometrica, colla quale si può trovare approssimativamente il risultato della mescolanza di più colori. Si divide una circonferenza in sette parti corrispondenti ai sette colori dello spettro, e proporzionali ai numeri $\frac{1}{9}, \frac{1}{16}, \frac{1}{10}, \frac{1}{9}, \frac{1}{16}, \frac{1}{10}, \frac{1}{9}$. Un calcolo semplicissimo dà i valori degli archi in gradi:

rosso	ranciato	giallo	verde	turchino	indaco	violetto
60°,45,'34''	34°,10,'38''	54°,41,'1''	60°,45,'34''	54°,41,'3''	34°,10,'38''	60°,45,'34''.

In seguito si determina il centro di gravità di ciascuno di questi archi; e per ottenere il risultato della meschianza da effettuarsi, si suppongono applicati ai centri di gravità degli archi corrispondenti ai colori che si vogliono mescolare, altrettanti pesi proporzionali alle quantità che si pigliano dei colori stessi, e si cerca il centro di gravità del sistema così ottenuto: il colore cercato è quello dell'arco del settore nel quale si trova questo punto. Per esempio, per indovinare la tinta della mescolanza dei raggi rossi, turchini e gialli nelle proporzioni di 2, 3 e 4, si cerca il punto d'applicazione della risultante delle tre forze, o pesi 2, 3 e 4, applicate ai centri di gravità dei settori rosso, turchino e giallo. Se questo punto cade, per esempio, in *n* giallo, si conchiuderà che la mescolanza dà il giallo, e un giallo che volge al verde, se il punto *n* s'accosta al verde piuttosto che al ranciato. Quanto più il punto *n* sarà vicino al centro, tanto più la

tinta s'approssimerà al bianco; e quando quel punto coinciderà col centro, allora la mescolanza formerà il bianco. Questo avviene, fra gli altri casi, in quello in cui si combinano i sette colori nelle proporzioni stesse degli archi che li rappresentano: la risultante essendo allora applicata al centro di gravità della circonferenza.

Da questa regola di Newton possiamo conchiudere: 1.° che la meschianza di due colori semplici i quali si succedano sulla circonferenza mostra, più o meno modificata, la tinta dei colori originarj. Bisogna però eccettuare il rosso ed il violetto, che non sono successivi nello spettro. 2.° Che due colori nel circolo separati da un terzo, formano quest'ultimo quando sono mescolati. Così il rosso ed il giallo producono il ranciato; il ranciato ed il verde producono il giallo, ecc. L'indaco ed il rosso, che si trovano alle estremità opposte dello spettro danno un colore rossastro differente dal violetto.

Non bisogna però perdere di vista che la esposta regola di Newton non dà mai un risultato rigorosamente esatto.

473. **Splendore dell'atmosfera per riflessione**. Prima d'abbandonare questa materia, facciamo una osservazione sulla proprietà che in ordine alla cosa stessa possiede la massa gasosa, da cui è circondato il globo terrestre. A chiunque si guardi intorno non può sfuggire questo fatto che l'atmosfera della terra riflette una parte della luce che la attraversa; e così acquista uno splendore proprio, e serve a diffondere la luce solare e ad impedire che le ombre, durante il giorno, sieno in una oscurità completa.

Colore turchino dell'atmosfera. Ma havvi di più. L'atmosfera, mentre riflette i raggi solari, li decompone; e da questa decomposizione proviene il colore azzurro ch'essa ci presenta. Questa tinta è tanto più pronunciata quanto più pura è l'aria: varia coll'inclinazione dei raggi solari e coll'altezza del luogo d'osservazione. Sulle sommità le più elevate fra le accessibili, il cielo appare presso che nero, e tuttavia la densità dell'aria è ancora maggiore della metà di quella dell'atmosfera al livello del mare.

Crepuscolo. Dopo ciò non vi riescirà difficile l'indovinare che qualora la terra fosse spogliata dall'atmosfera, fra gli altri inconvenienti, vi sarebbe anche questo che la notte succederebbe repentinamente al tramonto del sole, ed il giorno pure comincerebbe istantaneamente. Si chiama *crepuscolo della sera*, o semplicemente *crepuscolo,* la luce che il sole diffonde sulla terra qualche tempo dopo il suo tramonto, e *crepuscolo del mattino*, o *aurora*, quella ch'esso diffonde prima della sua levata. D'ordinario

si prende per limite del crepuscolo astronomico il momento in cui le stelle di sesta grandezza dello zenit cominciano a distinguersi alla sera, o scompajono al mattino. Nei nostri climi il crepuscolo della sera finisce, secondo la media, quando il sole è a diciassette o diciotto gradi sotto l'orizzonte. L'aurora comincia quando è un po' men basso, perchè i vapori atmosferici, precipitati durante la notte, formano uno strato meno alto. Del resto queste valutazioni sono molte vaghe, giacchè lo stato dell'atmosfera ha una grande influenza sulla durata del fenomeno: quando il colore pallido del cielo attesta la presenza di molti vapori condensati, il crepuscolo ha una lunga durata. Ciò avviene nei nostri climi durante l'inverno, e costantemente nelle regioni polari. Ai tropici, dove l'aria è d'ordinario secca e pura, il crepuscolo ha una durata così breve, che più d'un viaggiatore fu sorpreso dal rapido arrivo della notte. Il crepuscolo non dura che un quarto d'ora nel Chilì, e qualche minuto a Cumana e sulla costa occidentale d'Africa. Nel Sennaar la notte segue quasi immediatamente il tramonto del sole; ma ivi l'aria è tanto pura che in pieno giorno si distingue il pianeta Venere.

I diversi colori del crepuscolo dipendono dalla decomposizione della luce fatta per assorbimento dall'atmosfera, e ciò, come è naturale, varia secondo lo stato dell'atmosfera stessa. La riflessione peraltro concorre qualche volta a variare le circostanze che accompagnano il fenomeno.

ARTICOLO QUARTO

PROPRIETÀ PARTICOLARI DEI RAGGI COLORATI.

474. **Effetti prodotti dalla luce.** Dopo d'avere esaminati i mezzi coi quali naturalmente od artificialmente si ottengono separati i varj raggi colorati, e studiati i fenomeni che accompagnano o dipendono da questa separazione o decomposizione, è naturale che ci abbiamo ad occupare delle proprietà particolari di questi raggi, ossia degli effetti che singolarmente essi producono. Questi effetti, o queste proprietà, sono di due specie, *chimici* e *fisici;* ed i fisici si suddistinguono in *luminosi, calorifici, fosforogenici.* Ci occuperemo di ciascheduno in particolare, colla maggior brevità possibile in una materia tanto estesa, e sulla quale anche attualmente travagliano indefessi i fisici, animati dalle più belle speranze.

475. **Azione chimica della luce.** Una delle forze, ammirabili, delle quali l'Autore della natura ha dotato l'astro centrale

del nostro sistema planetario, e che produce su tutti i corpi, che lo compongono, i più meravigliosi effetti, è la forza chimica della luce. La luce è capace di produrre certe azioni chimiche, che il calorico non può provocare. Per esempio, essa determina la combinazione del cloro, del bromo, e dell'iodio coll'idrogeno, della resina di guaiaco coll'ossigeno, ecc.; e decompone i sali d'argento, d'oro, di platino, che abbandonano una parte del loro metallo. — La luce è necessaria alle azioni chimiche che avvengono alla superficie delle foglie nelle piante durante l'atto della loro respirazione. Il raggio solare è l'agente che decompone l'acido carbonico (307), mettendo l'ossigeno in libertà, e permettendo al carbonio di trasformarsi in fibra lignosa.

La luce concorre inoltre alla formazione delle materie coloranti delle foglie e dei fiori. All'ombra i vegetali si sviluppano male; le parti che si tengono nella oscurità restano d'un bianco giallognolo, e sono molto più molli di quelle che crescono alla luce del giorno. Fu osservato che alcuni vegetali, posti in una camera oscura, nella parete della quale era praticato un foro, inclinarono verso di questo, col crescere giunsero a sortire da esso, sebbene la loro posizione primitiva fosse aliena da questa direzione; e ciò che è singolare non si vestirono di foglie eguali. Quelle fra loro che furono esposte più o meno alla luce erano più o meno verdi, e le altre erano bianche giallognole. Tutti sanno che i fiori e le foglie degli alberi guardano sempre il sole, e rivolgendo i rami a cui sono uniti, in modo da alterarne la disposizione, a poco a poco i fiori e le foglie ritornano nella posizione primitiva.

Anche la luce lunare, benchè non sia che una minima frazione della solare, ha la sua influenza nella vegetazione; onde non è incredibile che essa possa agire sopra certi germoglj, quando sono sul nascere, e perciò non sia indifferente il seminare certe piante ad una età piuttosto che ad un'altra della luna. A conferma di questa asserzione si potrebbero citare molti esempj; ma basti uno solo. Si piantarono 60 semi di malvoncini in una cassetta ad eguale distanza, tutti si esposero di giorno all'azione del sole, e di notte si tennero riparati per metà dalla luce della luna: quelli che sentirono, oltre l'azione solare, anche la lunare, nacquero prima e più belli. L'azione della luce poi si estende al regno animale, perchè a tacere dell'influenza che essa ha sul colore della pelle anche nell'uomo, e che certamente dipende più dai raggi chimici che da qualsiasi altra cagione (producendosi gli stessi effetti colla luce elettrica, che è ricchissima di tali raggi), sembra che anche l'immensa produzione di esseri organici

animali che si sviluppano al fondo dell'oceano tropicale, sia dovuta specialmente a questa causa; poichè i raggi calorifici solari non arrivano a tanta profondità, essendo assorbiti dall'acqua; e vi giungono invece i raggi chimici, che sono trasmessi. Gli animali nella oscurità illanguidiscono. Le conchiglie riparate sotto qualche scoglio non presentano che colori pallidi in confronto a quelle che ricevono liberamente la luce del giorno. Anche i colori, in generale, dei tessuti e delle carte impallidiscono rapidamente, quando sono esposti al sole. La tela greggia, e la cera, esposte al sole, nelle opportune condizioni, diventano bianche, ecc. Il fosforo cangia colore sotto l'influenza della luce.

476. **Attività chimica dei diversi raggi luminosi.** Le diverse sorgenti luminose non producono però effetti chimici di eguale energia. Inoltre, i raggi semplici non hanno tutti la medesima efficacia. Scheele, che scoprì, verso l'anno 1770, l'azione della luce sul cloruro d'argento, osservò l'ineguale azione dei diversi raggi dello spettro su questa sostanza, e constatò che i raggi violetti godono dell'attività maggiore. Ritter e Wollaston scoprirono in seguito, nel 1801, che il cloruro d'argento è fortemente imbrunito, se vien messo nello spazio esterno allo spettro luminoso, che immediatamente succede al violetto, e dove non vi sono punto raggi visibili. Berard, avendo concentrati al fuoco d'una lente i raggi dello spettro solare situati fra il verde ed il rosso, e poi quelli compresi fra il verde ed il violetto, trovò che il cloruro d'argento posto al fuoco brillante del primo fascio non aveva indicato, alla fine di due ore, alcuna colorazione, mentre che al fuoco debole del secondo era divenuto nero in qualche minuto. Gay-Lussac e Thénard viddero la mescolanza del cloro e dell'idrogeno detuonare sotto l'influenza dei raggi violetti, mentre non manifesta fenomeno alcuno dinanzi al rosso. Possiam dunque conchiudere, senza tema d'errare, che i raggi semplici non godono tutti della stessa attività chimica.

I fisici tentarono di conoscere le leggi di questa differenza, ed i risultati principali, ai quali furono condotti dalle loro più esatte esperienze, si possono ridurre ai seguenti:

1.° Le azioni chimiche non si palesano per le differenti sostanze, nelle medesime parti dello spettro. Così l'anneramento del cloruro d'argento si mostra all'estremo violetto, fra le righe H e G, e continua a poco a poco quasi fino in F, e dalla parte opposta molto al di là del violetto visibile. Il bicromato di potassa, il cui acido cromico si cangia in ossido di cromo, comincia ad imbrunirsi verso la riga F. L'impressione sul cloruro d'oro si estende da E fino ad un pochettino in là da H. Il massimo

dell'azione pel bicromato di potassa è tra F e G, e pel cloruro d'oro è fra G ed H, come pel cloruro d'argento: per qualche altra sostanza è al di là del violetto.

2.° Si distingue pertanto anche lo *spettro chimico,* dalla parte del violetto più esteso dello spettro luminoso, dove ha per limite quel punto in cui il cloruro d'argento non soffre più alcuna modificazione chimica. Lo spettro chimico presenta esso pure le righe, ossia le linee lungo le quali il cloruro d'argento non patisce cangiamento di colore; e le principali sono in numero di tredici, le prime otto delle quali coincidono colle righe dello spettro solare, e le altre cinque sono comprese nello spazio oltre il violetto visibile, e sono segnate dalle lettere I, M, N, O, P.

3.° La trasmissione attraverso mezzi incolori, solidi o liquidi, non altera sensibilmente l'attività chimica dei raggi che si trovano tra le righe B ed H di Fraunhofer. Ma al di là di quest'ultima riga l'attività chimica dei raggi viene molto indebolita da parecchie sostanze, quali l'acido nitrico, l'essenza di mandorle amare, la soluzione di solfato di chinina, ecc.

4.° Se invece di preparare il cloruro d'argento nell'oscurità completa, lo si espone un istante alla luce diffusa, prima di sottometterlo all'azione dei raggi dispersi, si vede che l'azione si manifesta nel medesimo tempo in tutte le parti dello spettro, anche nel rosso estremo. I raggi meno rifrangibili, adunque, hanno la proprietà di continuare l'azione chimica una volta incominciata. Becquerel pertanto chiama tali raggi *continuatori*, mentre dice *raggi eccitatori* quelli che sono capaci di cominciare l'azione. I raggi però eccitatori per una sostanza, come è facile indovinare da quanto abbiam detto precedentemente, non sono tali rispetto ad un'altra qualunque.

Identità dei raggi chimichi e dei raggi luminosi. Il fatto che lo spettro chimico si estende più dello spettro luminoso condusse da principio i fisici a distinguere le radiazioni chimiche od i raggi chimici dai raggi luminosi. Ma Becquerel dalle numerose esperienze, fatte da lui su questa materia, ha potuto conchiudere che quella distinzione era erronea, e che sono gli stessi raggi luminosi quelli che producono gli effetti chimici. Diffatti i raggi capaci di azione chimica si riflettono e si rifrangono come i raggi luminosi della stessa rifrangibilità; i due spettri sono interrotti dalle medesime righe, nelle parti comuni; i corpi che assorbono i raggi luminosi, assorbono anche i raggi chimici della medesima rifrangibilità.

Del resto l'unico argomento, a cui s'appoggia quella distinzione è che le azioni chimiche si manifestano anche laddove

non è dato di scorgere raggio alcuno luminoso. Ma per comprendere la debolezza di questa prova, basta riflettere che l'azione meccanica della luce sul nostro organo visivo è differente dall'azione chimica che produce su di una sostanza; e quindi che differente è la sensibilità del nostro occhio da quella della sostanza sottoposta all'azione della luce, di modo che sebbene la luce sia troppo debole per impressionare l'occhio, pure può avere abbastanza di forza per produrre un' azione chimica, a capo di un certo tempo. Inoltre l'impotenza dei raggi chimici ad agire come luminosi è piuttosto relativa che assoluta. Spesse volte si nota che parecchi individui assegnano alla estremità violacea dello spettro un limite molto superiore a quello che le si attribuisce dalla maggior parte degli osservatori; anzi alcuni, e fra questi Herschell, affermano di aver veduto al di là del violetto una sfumatura albeggiante o di color cinereo.

477. **Fotografia.** Da queste azioni chimiche della luce è nata la *fotografia,* ossia l'arte di rendere stabili le imagini che si formano nella camera nera. Per lo spazio di trent'anni, dal 1802 al 1829, i tentativi dell'uomo per conoscere il vero segreto di questa operazione, riescirono infruttuosi; finchè Niepce nel 1829 ebbe la gloria di risolvere il difficile problema, e nel 1839 Daguerre scoprì l'estrema sensibilità dell'ioduro d'argento, ed imaginò il suo processo di fotografia a mercurio, che eccitò, al momento della sua pubblicazione, un entusiasmo, di cui non se ne conosce esempio nella storia della scienza.

Processo fotografico di Daguerre. Le piastre, sulle quali Daguerre fissava le imagini della camera nera, erano lamine di rame coperte da uno strato d'argento dello spessore di $^1/_{40}$ ad un $^1/_{20}$ di millimetro. Il metodo di questo fisico si può ridurre ai capi seguenti:

1.° Si comincia dal pulire la superficie della lamina, con un piumacciuolo di cotone e con polvere di tripoli inumidita da qualche goccia d'alcool. Il successo dipende sopratutto da questa prima operazione.

2.° Si fissa la lamina in un telajo di legno orizzontale chiuso in una scatola, e la si espone ai vapori dell'iodio. Quando la superficie argentina ha preso un colore giallo d'oro, la preparazione è terminata. Questo non avverrà che dopo un lasso di tempo che può variare da 5 a 15 minuti, secondo la temperatura. Si opera nella oscurità e si verifica lo stato della superficie col favore di un po' di luce penetrante da una apertura chiusa da carta gialla o rossa, che lascia passare appena i raggi di questo colore, i quali non hanno alcuna azione chimica sull'ioduro medesimo.

3.° La piastra diligentemente riparata dal diaframma fermato nel telajo che la contiene, viene in seguito trasferita nella camera nera, al posto ove si forma l'imagine focale che si vuol riprodurre. La luce agisce in ciascun punto dello strato d'ioduro d'argento, con tanto più d'intensità quanto più è viva. Alla fine di un periodo determinato di tempo, più o meno lungo secondo lo splendore della luce, si ritira la piastra, sulla quale non si distingue ancora nulla. L'imagine potrebbe bene apparirvi spontaneamente, ma allora sarebbe necessaria una esposizione d'un'ora almeno. Di più, questa imagine sarebbe ***negativa***, cioè offrirebbe l'inconveniente d'avere il bruno più scuro appunto colà dove lo schermo ricevette la luce più chiara, e per conseguenza i chiari e le ombre vi si troverebbero ripartite precisamente al rovescio di quel che è negli oggetti.

4.° Dopo ciò, si espone la piastra in una cassetta, sotto una inclinazione di 45°, ai vapori di mercurio, che si sviluppano da una massa di questo liquido versato sul fondo della capacità e scaldato fino a 60° circa. Allora si palesa l'imagine, e si può seguirne lo sviluppo rischiarando la piastra, attraverso un vetro rosso adattato alla cassa. Alla fine di quattro o cinque minuti, si ritira la piastra, sulla quale il mercurio s'è deposto in piccole gocce visibili solo col microscopio. Queste piccole gocce sono tanto più aderenti fra loro quanto più energica fu l'azione della luce sull'ioduro d'argento; di modo che le parti dell'imagine che furono vivamente rischiarate presentano una bianchezza sbiadita, e le altre, poco o nulla modificate, offrono la nuda e splendida superficie dell'argento.

5.° Per levare l'ioduro rimasto inalterato, si mette la piastra sul fondo piano d'un vaso riempito da una soluzione d'iposolfito di soda, contenente circa $^1/_{10}$ in peso di sale, e si fa leggermente oscillare il vaso, in modo che il liquido abbia a scorrere più volte sopra la piastra. L'ioduro non decomposto viene disciolto, e l'argento riprende il suo colore ordinario nelle parti non ricoperte dal mercurio. In appresso si lava il tutto con acqua pura.

6.° Finalmente per rendere permanente l'aderenza delle gocce di mercurio alle parti chiare dell'imagine, Dumas da principio imaginò di versare sulla piastra una soluzione bollente di destrina. Ma in seguito si trovarono altri metodi diversi più opportuni. Di essi citeremo quello di Fizeau. Si versa sulla piastra, collocata in una posizione precisamente orizzontale, uno strato d'una soluzione di cloruro d'oro, mescolato ad iposolfito di soda; ed in appresso la si riscalda con una lampada ad alcool

L'aria aderente alla piastra si distacca da essa, e vi si deposita uno strato d'oro, che ricopre l'argento e le piccole gocce di mercurio, formando una vernice, la quale aumenta la stabilità del preparato, e gli permette di resistere ad una qualunque moderata confricazione.

Sostanze acceleratrici. I preparati di Daguerre esigevano quindici minuti circa di esposizione nella camera nera, sicchè rendevano impossibile l'applicarli ai ritratti, essendo difficile di ottenere l'immobilità del modello per un tempo così lungo. Ma in seguito si è potuto ridurre la durata dell'esposizione a qualche secondo, ed anche a delle frazioni di secondo, servendosi di lenti perfettissime, e sopratutto aumentando la sensibilità dello strato che viene impressionato dalla luce.

Clandet, nel 1841, accrebbe questa sensibilità per mezzo del vapore di bromo. Dopo d'aver formato lo strato giallo dell'ioduro, si espone la piastra al vapore di bromo sviluppato dal bromuro di calce, e lo vi si lascia finchè abbia presa una tinta rosea. Dopo trenta secondi circa, si ritira di qui il preparato, per sottometterlo nuovamente all'azione dell'iodio, che deve essere protratta fino al punto in cui il tutto mostra una tinta violacea. A questo modo si forma un bromo-ioduro d'argento, che la luce modifica molto più rapidamente che l'ioduro. Del resto molte sono le sostanze che, come il bromo, servono ad accelerare l'azione della luce, e come tali vogliono essere ricordati il cloro, l'acido cloroso, il cloruro di bromo, il cloruro di solfo, ecc.

478. **Dagherrotipo**. La camera nera, di cui si fa uso nella fotografia ha ricevuto il nome di *dagherrotipo*. Questo apparato consiste in una cassetta cubica, a due pezzi B e C (fig. 450) l'uno dei quali C è fisso, e l'altro B è mobile, sicchè fra certi limiti può essere introdotto più o meno nel primo. La parete E è formata da un vetro smerigliato, fisso in una cornice, che si può levare per sostituirvi la lamina coperta dal preparato chimico. Nella parete opposta ad E è praticato un foro circolare, munito di un tubo metallico A, il quale contiene una lente acromatica, che dicesi l'*ob-*

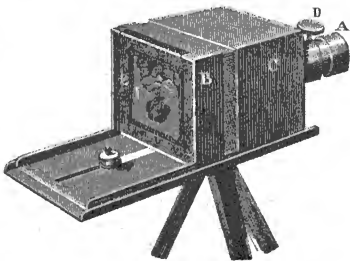



Fig. 450.

biettivo, e può essere spostata lungo il tubo, mediante un'asta dentata ed un piccolo rocchetto, a cui è fisso il bottone D. La cassetta cubica viene collocata sopra un piccolo tavolo, sostenuto da un treppiede, a gambe snodate, in modo che può essere più o meno inclinata.

L'obbiettivo dei primi dagherrotipi non era che una semplice lente, e bisognava occultarne il lembo per impedire l'aberrazione di sfericità. Ciò aveva un difetto capitale: essendo l'imagine poco viva, si richiedeva molto tempo per l'azione della luce sulla piastra. Chevalier, formando l'obbiettivo con due lenti, gli potè dare una grande apertura, conservando l'imagine assai netta, e potè così ridurre la durata dell'esposizione a due o tre minuti, prima dell'invenzione delle sostanze acceleratrici. Nella figura 451 viene offerta la sezione d'uno di questi doppj obbiettivi, formato da due lenti acromatiche A e B, che si possono avvicinare tra loro più o meno, per mezzo d'un pignone applicato in D e di un telajo dentato.

Fig. 451.

Prima di esporre all'azione della luce la lamina preparata, bisogna determinare la posizione delle parti mobili dell'apparato, in modo che il fuoco dell'obbiettivo cada precisamente sulla parete opposta. A questo scopo, l'operatore, sotto un drappo nero, osserva sul vetro smerigliato l'imagine dell'oggetto che si vuol copiare collocato davanti all'obbiettivo, e sposta la parte mobile della cassa, finchè l'imagine stessa apparisca ben distinta. Così la lastra è portata pressochè nel fuoco; e si finisce di collocarvela movendo opportunamente l'obbiettivo per mezzo del pignone D. Allora si copre l'obbiettivo col coperchio; si leva la lastra di vetro, e vi si sostituisce la piastra sensibile; si ritira il diaframma che la ripara, ed in fine si scopre l'obbiettivo.

Da questo istante incomincia l'azione della luce sullo strato sensibile, e la si lascia continuare per un tempo determinato, che varia coll'obbiettivo, colla sensibilità del preparato chimico e coll'intensità della luce, e può essere da 8 a 50 secondi. Se l'esposizione alla luce fu troppo prolungata la prova rimane bianca, ed è nera se l'esposizione fu di breve durata. Quando è tempo di arrestare l'azione della luce (ciò che non può sapersi se non mediante una lunga pratica) si copre l'obbiettivo, si abbassa il diaframma opaco che racchiude la piastra sensibile, in modo che questa si trovi nella perfetta oscurità, e la si porta nella camera chimica, ove si agisce come abbiamo superiormente indicato, onde rendere visibile e durevole l'imagine.

479. **Fotografia sul vetro e sulla carta.** Il processo di Daguerre lasciava a desiderare ancora una cosa, ed era di poter ritrarre l'imagine sopra lamine meno pesanti delle metalliche, e tali che non presentassero quella riflessione spiacevole a cui queste danno origine. Ben presto la scienza potè risolvere anche un simile importante problema, ed indicare il mezzo non solo di ottenere sulla carta le imagini della camera nera, ma ancora di riprodurre colla prima prova un gran numero d'altre, senza ricorrere di nuovo al modello.

Nel processo attualmente in uso si formano due distinte imagini dell'oggetto. La prima è *negativa*, e la seconda, in cui si scorgono le tinte naturali del corpo, dicesi *imagine* o *prova positiva*. Generalmente si forma sul vetro la prova negativa pei ritratti, e sulla carta la prova negativa pei paesaggi, e la positiva per ambedue le specie di oggetti.

Prove negative sul vetro. Sopra una lastra di vetro pulita diligentemente, col processo che abbiamo poc'anzi indicato, e collocata in posizione orizzontale, si versa un po' di collodio, contenente in soluzione una determinata quantità d' ioduro di potassio; indi si inclina la lastra in differenti versi, onde il liquido si distribuisca in uno strato sottile ed uniforme su tutta la superficie della lastra; e dopo questa operazione si fa sgocciolare tutto l'eccesso del collodio. Il collodio che serve in questo processo fotografico è composto da una parte di pirossilo sciolta in 90 di etere solforico e 60 d'alcool a 33°. Quando poi vuolsi ottenere istantaneamente l'imagine negativa dell'oggetto, al collodio, mescolato all'ioduro di potassio, si aggiunge il 15 per 100 di una soluzione alcoolica d'ioduro d'argento, ed il 6 per 100 di una soluzione alcoolica d'ioduro di ferro.

Qualunque però sia la mescolanza contenuta nel collodio, il liquido sparso sul vetro non tarda a solidificarsi, per l'evaporazione dell'etere e dell'alcool, e la superficie acquista un aspetto velato. Allora s'immerge la lastra in un bagno contenente 1 di nitrato d' argento per 10 d'acqua distillata. Questa operazione, in cui l'ioduro di potassio si trasforma in ioduro d'argento, deve farsi nell'oscurità più perfetta od in luogo illuminato solo da una lampada coperta con vetro o con carta di colore giallo ranciato. Il tempo dell'immersione è circa di un minuto; e dopo si espone la lastra nel dagherrotipo, colle precauzioni già indicate. Ivi, sotto l'influenza della luce, in brevissimo tempo il disegno è compiuto, ma non appare. Per renderlo visibile fa d'uopo versare sulla lastra una soluzione di acido gallico o pirogallico, ov-

vero di protosolfato di ferro, a cui si aggiunge un po' d'acido acetico cristallizzabile, ed anche riscaldarla leggermente se vuolsi affrettare il risultato. Ma ciò non basta: onde l' imagine non sia ulteriormente modificata dalla luce, è necessario di lavarla in una soluzione d'iposolfito di soda, e così sciogliere l'ioduro d'argento non decomposto.

Allorchè non si richiede una prontezza estrema nell' azione della luce, al collodio si può sostituire l' albumina. In questo caso si sbattono alcuni chiari d' uovo, ed al liquido filtrato si aggiunge l' 1 per 100 d' ioduro di potassio, ed il 25 per 100 d'acqua. Dopo che lo strato d' albumina si è disseccato, s' immerge la lastra in una soluzione di 8 parti di nitrato d'argento e 8 di acido acetico cristallizzabile, in 100 d'acqua pura. Le lastre preparate a questo modo possono esser tenute all' oscuro per parecchi giorni, prima di esporle all'azione della luce nel dagherrotipo, senza che perdano molto della loro sensibilità.

Prove negative sulla carta. Quando si vogliono produrre sulla carta le imagini negative, si prepara una soluzione di una parte d'ioduro di potassio in 25 d'acqua; indi sulla superficie di questo liquido si distende il foglio di carta, con tutte le cautele necessarie per impedire che la faccia superiore del foglio s' abbia da bagnare. Dopo questo, si espone il foglio all' evaporazione; ed allorchè è asciugato, lo si applica allo stesso modo e per la medesima faccia sulla superficie di una soluzione di 2 parti di nitrato d'argento e di 2 altre di acido acetico cristallizzabile, in 25 parti di acqua pura. Il tempo di questo bagno è di alcuni secondi; e dopo, la carta può essere introdotta nel dagherrotipo.

Prove positive sulla carta. Da una prova negativa fatta sul vetro o sulla carta, si può ottenere un numero indeterminato di imagini positive. A tal fine si applica il disegno negativo ad una carta preparata col cloruro d'argento, e dopo d'aver stretto il tutto fra due lastre di vetro, lo si espone all'azione della luce, in maniera che l'imagine negativa sia al dissopra dell'altra superficie. In questa operazione si ottiene un'imagine positiva dell'oggetto, giacchè il cloruro d'argento s'annerisce nelle parti corrispondenti ai chiari della prova negativa. In fine, a rendere permanente l'imagine ottenuta, fa d'uopo lavarla in una soluzione d' iposolfito di soda; e per dargli i diversi tuoni, la si tiene immersa per un tempo più o meno lungo in una soluzione di un grammo di cloruro d'oro per ogni litro d'acqua.

Prove positive sul vetro. Si può anche ottenere immediatamente un bel disegno positivo sul vetro, se dopo d'aver lasciato esposto

l'ioduro d'argento nel dagherrotipo per circa la metà del tempo necessario ad ottenere la prova negativa, si faccia apparire il disegno, non coll'acido gallico, ma col protosolfato di ferro, si lavi la lastra coll'acqua, e poi vi si versi sopra una soluzione di una parte di cianuro di potassio in 10 d'acqua.

Del resto i processi fotografici descritti sono tutt'ora modificati e perfezionati, e nella pratica dei medesimi vogliono essere osservate moltissime cautele, la cui esposizione appartiene non alla parte teorica, ma alla tecnica. Conchiuderemo pertanto questa trattazione, facendo voto che la scienza ci indichi presto il processo onde ottenere le imagini fotografiche tinte coi colori proprj degli oggetti. I risultati non hanno finora coronate le numerose esperienze fatte a questo proposito; sono tali però che ci fanno sperare presto un esito felice. Becquerel ottenne imagini colorate dello spettro solare; e Niepce di Saint-Victor è riuscito a riprodurre imagini dipinte. Siffatti colori generalmente non hanno la vivezza degli originali, nè si è trovato il modo di renderli stabili; giacchè tutte le dissoluzioni, a questo scopo esperimentate, li fanno sparire, e non lasciano che l'imagine in nero. Ma ci pare che trovata una sostanza che riproduce i colori, si possa presagire poco lontano il giorno in cui s'abbia a scoprirne un'altra che li riproduca in modo costante.

480. **Effetti fisici della luce**. Gli effetti fisici della luce sono *luminosi, calorifici* e *fosforogenici*. I diversi raggi colorati non godono tutti del medesimo poter rischiarante; ma la parte più brillante dello spettro è quella che trovasi al limite del giallo, fra le righe D ed E; indi segue quella che è al limite del ranciato; poi la parte verde, ecc. Il massimo potere calorifico appartiene ai raggi che meno si rifrangono; e lo potremo confermare esperimentalmente nella termologia. Anche la facoltà fosforogenica varia da un raggio ad un altro; anzi alcuni non manifestano in modo alcuno questa proprietà, ed altri arrivano anche a sospendere la fosforescenza dei corpi. I raggi fosforogenici sono i più rifrangibili, quelli cioè che si trovano fra l'indaco ed il violetto; i raggi continuatori hanno la proprietà di spegnere la fosforescenza nei corpi che la manifestano, o meglio di far sì che questi corpi sviluppino rapidamente quella quantità di luce che essi irradierebbero con somma lentezza.

Nel sistema delle ondulazioni la facoltà fosforogenica dei raggi luminosi non è altro che la loro attitudine a destare in alcuni corpi vibrazioni che abbiano una durata più o meno lunga; e la fosforescenza di questi corpi è la loro attitudine a continuare le vibrazioni luminose anche un certo tempo dopo cessata la

causa che le ha destate. Ciò sembra confermato dal fatto che i corpi bianchi ed opachi acquistano la fosforescenza meglio dei trasparenti, che danno troppo libero passaggio alla luce, e dei neri, che trasformano le onde luminose in movimenti vibratorj d'altra specie.

CAPO TERZO

POLARIZZAZIONE DELLA LUCE.

481. **Polarizzazione della luce**. Un fascio di luce dopo l'incontro di un ostacolo, che lo ha riflesso, o dopo d'aver attraversato un mezzo cristallino, spesse volte manifesta a' suoi diversi lati diverse intensità o particolari modificazioni di colore. Si dice allora che questo fascio è *polarizzato;* ed il fenomeno, nel quale esso acquista queste proprietà, chiamasi *polarizzazione.* La luce si polarizza per riflessione, per rifrazione semplice, per rifrazione doppia, per emissione obliqua e per diffusione. Qui dobbiamo esaminare le principali leggi della polarizzazione della luce; e dividiamo questo capo in tre articoli: nel primo ci occuperemo delle variazioni d'intensità nella luce polarizzata, nel secondo dei colori prodotti dalla luce stessa; e nel terzo di alcuni fenomeni particolari che si manifestano nelle variazioni d'intensità, o nelle colorazioni della luce polarizzata.

ARTICOLO PRIMO

POLARIZZAZIONE SEMPLICE.

482. **Polariscopj — e polarizzatori**. Gli apparati che servono a scoprire se la luce sia polarizzata o no, chiamansi *polariscopj;* ed ogni corpo che polarizza la luce dicesi *polarizzatore.* Spesse volte uno stesso corpo può far l'ufficio di polariscopio e di polarizzatore. I polariscopj principali sono tre, di facile costruzione e di facilissimo uso.

Polariscopio riflettore. Il primo polariscopio *riflettore* consiste in una lastra di vetro, mobile attorno un asse, e sostenuta all'estremità di un tubo. Il raggio luminoso da esaminare entra in questo tubo dall'altra estremità, e si riflette sullo specchio inclinato di 54°, 75′ alla direzione del raggio. L'esperimentatore si colloca in modo da ricevere il raggio riflesso, e fa rotare il tubo intorno all'asse. Se il raggio riflesso è polarizzato, esso cangia d'intensità nel periodo della rotazione del tubo. Fra

le diverse posizioni che lo specchio assume a questo modo, sonvene due nelle quali il raggio riflesso ha *massime* ed eguali intensità. Queste due posizioni distano fra loro di 180°, e per conseguenza il raggio riflesso giace nello stesso piano in ambedue i casi. Nelle due posizioni distanti di 90° da questi due massimi il raggio riflesso manifesta *minime* ed eguali intensità. Fra un massimo ed un minimo l'intensità varia gradatamente, in maniera che il raggio riflesso ha sempre la stessa intensità nelle due posizioni diametralmente opposte. La differenza fra il massimo ed il minimo d'intensità varia coll'angolo d'incidenza, e qui è massima quando questo angolo è di 54°, 75′, che dicesi *angolo di polarizzazione del vetro.* Se il raggio riflesso scompare totalmente nelle posizioni del minimo, si dice che il raggio incidente è *totalmente polarizzato*, e nel caso contrario dicesi che il raggio stesso è *parzialmente polarizzato.* Il piano d'incidenza nel caso in cui il raggio riflesso manifesta la massima intensità, chiamasi piano di *polarizzazione* del raggio. Quindi si dice che il raggio è polarizzato *nel piano d'incidenza,* quando dopo la riflessione ha la massima intensità; e *perpendicolarmente al piano d'incidenza,* quando il raggio stesso ha la minima intensità.

Polariscopio rifrangente. Il secondo polariscopio è quello che dicesi *rifrangente,* e consiste ancora in una lamina di vetro, o meglio in una pila di lamine di vetro, sottili ed a facce esattamente parallele, unite fra loro per mezzo di una cornice metallica. Quando si presenta, sotto l'angolo di polarizzazione, una di tali pile ad un raggio polarizzato, e si fa rotare questa pila intorno al raggio stesso, si osserva che il raggio rifratto cangia periodicamente d'intensità. La luce non è trasmessa, o lo è col minimo splendore, se il piano d'incidenza coincide col piano di polarizzazione; ed invece si manifesta il massimo di splendore nel raggio rifratto, quando il piano d'incidenza sulla pila è perpendicolare al piano di polarizzazione. Quindi si dice che la luce nel rifrangersi si polarizza nel piano perpendicolare al piano d'incidenza.

Polariscopio birifrangente. Il terzo polariscopio è un qualunque cristallo birifrangente. La luce naturale emergente da un siffatto cristallo si divide ordinariamente in due raggi, i quali hanno eguale intensità, qualunque sia l'angolo che il piano d'incidenza fa colla sezione principale. Ma se la luce emergente dal cristallo è polarizzata, si osserva che, facendo rotare il cristallo sopra sè stesso, il raggio ordinario s'indebolisce gradatamente, nell'atto medesimo che l'altro aumenta d'intensità. Il massimo pel raggio

ordinario ha luogo quando il piano di polarizzazione passa per la sezione principale, ed allora si verifica il minimo pel raggio straordinario; e viceversa il minimo pel raggio ordinario avviene quando il piano di polarizzazione è perpendicolare alla sezione principale, ed allora si mostra il massimo pel raggio straordinario. Se, mentre il piano di polarizzazione e la sezione principale sono paralleli o perpendicolari, il fascio emergente è unico, esso è polarizzato totalmente; altrimenti lo è solo parzialmente.

Tormalina. La tormalina è un cristallo birifrangente, che possiede la singolare proprietà di assorbire fortemente il raggio ordinario, di modo che, quando ha un certo spessore, non trasmette che il raggio straordinario. Quindi una lastra di tormalina tagliata parallelamente all'asse è un prezioso polariscopio; giacchè è chiaro che se, mentre si riceve attraverso di essa un raggio luminoso, la si fa rotare nel proprio piano, il raggio stesso manterrà una intensità costante quando non sia polarizzato, ed invece presenterà delle variazioni periodiche nel suo splendore, quando lo sia.

Prisma birifrangente. Collo spato d'Islanda si costruiscono prismi birifrangenti che sono adoperati come analizzatori in qualche strumento d'ottica. Da un pezzo di questa sostanza si taglia un prisma in modo che i suoi spigoli siano paralleli o perpendicolari all'asse ottico del cristallo, ed allo scopo d'avere un polariscopio acromatico, al prisma di spato d'Islanda si unisce un secondo prisma di vetro, che elida l'effetto della dispersione prodotta dal primo. Indi si fissa un siffatto sistema all'estremità di un tubo di ottone (fig. 452). Un fascio luminoso che attraversi questo tubo secondo la lunghezza è polarizzato totalmente se, facendo girare il tubo sopra sè stesso, in una rivoluzione intera si trovano quattro posizioni, distanti fra loro di 90°, nelle quali non si scorge che una sola imagine. Quando il piano della sezione principale è perpendicolare al piano di polarizzazione scompare l'imagine ordinaria, e quando i due piani medesimi coincidono scompare l'imagine straordinaria. Nelle posizioni intermedie si manifestano due imagini con intensità varianti periodicamente ed in senso alternativo.

Fig. 452.

Prisma di Nicol. Collo spato d'Islanda si costruisce anche un altro polariscopio di molto pregio, detto *prisma di Nicol.* A questo scopo si prende un romboedro di spato d'Islanda, della lunghezza di 27^{mm}, e della larghezza e spessore di 9^{mm}; lo si taglia in due parti secondo le due maggiori diagonali; e poi si

riuniscono ancora queste due parti nella loro posizione primitiva, incollandole col balsamo del Canadà (fig. 453). Un raggio luminoso SC (fig. 454) che penetri nel prisma così formato, si

Fig. 453.

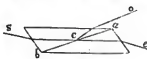



Fig. 454.

divide in due; ma il raggio ordinario si riflette totalmente sulla superficie *ab* del balsamo, seguendo la direzione CO, e non si trasmette che il raggio straordinario, secondo la direzione C*e*; giacchè l'indice di rifrazione del balsamo del Canadà è minore dell'indice ordinario dello spato d'Islanda, e maggiore dell'indice straordinario del medesimo. Per conseguenza un raggio trasmesso da questo prisma è naturale quando mantiene costante intensità nella rotazione dell' apparato, e polarizzato se nell' atto stesso cangia d'intensità. Il prisma di Nicol è il più prezioso fra i diversi apparati di polarizzazione. Ma, come osservò Deleuil all'Accademia delle scienze di Parigi, nel 15 gennajo del corrente anno, ha un triplice difetto, che in molti casi nuoce alla riuscita dell' esperienza, ed eccolo. La direzione dei raggi è troppo obliqua alle facce d'ingresso e d'uscita; il campo angolare non abbastanza esteso; e la lunghezza in qualche caso è eccessiva. A questi difetti seppe rimediare lo stesso Deleuil, come egli manifesta, in quella medesima occasione, ai dotti dell'Accademia francese. Per preparare il nuovo prisma, si divide lo spato d'Islanda con un piano perpendicolare all'asse, indi si tagliano le facce d'ingresso e d'uscita in modo che il loro angolo col piano della sezione abbia un valore relativo agli indici di rifrazione della sostanza che serve ad incollare i due pezzi. Nel prospetto seguente vi offriamo la grandezza che deve avere quest'angolo nei diversi casi, e vi indichiamo la lunghezza del prisma e l'estensione angolare del campo, che loro corrispondono.

Nome della sostanza che serve di colla	Indice di rifrazione della medesima sostanza	Angolo delle due facce col piano della sezione	Lunghezza del prisma in millimetri	Estensione angolare del campo
Balsamo del Canadà	1,549	79°,0	5,2	33°
Balsamo di copahu	1,507	76°,5	3,7	35°
Olio di lino	1,485	73°,5	3,4	35°
Olio di papavero	1,463	71°,1	3,0	28°

483. **Polarizzatori**. Tutti i polariscopj descritti possono servire anche come polarizzatori. Un raggio di luce che cade sopra una lastra di vetro sotto l'angolo di 54°, 75', è polarizzato nella riflessione: giacchè non è riflesso con eguale intensità in tutte le direzioni da una seconda lastra, che lo riceva sotto l'angolo di 54°, 75'. Quando il piano d'incidenza sulla seconda lastra è perpendicolare al piano d'incidenza sulla prima, l'intensità del raggio riflesso è nulla o per lo meno minima. Allo stesso modo si può constatare la polarizzazione del raggio luminoso nella riflessione sulla prima lastra di vetro, con uno qualunque degli altri polariscopj. Se l'angolo d'incidenza sulla lastra polarizzante è maggiore o minore di 54°, 75', in modo che la luce non sia polarizzata che parzialmente, si può ottenere la polarizzazione totale, facendo più volte riflettere il raggio luminoso sotto il medesimo angolo. Il numero di tali riflessioni è tanto più grande quanto maggiore è la differenza fra l'angolo d'incidenza e l'angolo di polarizzazione.

Tutte le sostanze possono, come il vetro, polarizzare la luce per riflessione, ma più o meno completamente e sotto diversi angoli d'incidenza. Poche sono quelle che, come il vetro nero ed il marmo nero, la polarizzano completamente; il diamante, il vetro ordinario, il vetro d'antimonio, ecc., la polarizzano parzialmente. I metalli hanno una facoltà polarizzante minore di quella di tutti gli altri corpi.

Anche la luce che attraversa una lastra di vetro, od una pila di simili lastre, è polarizzata, se l'angolo d'incidenza è eguale a quello di polarizzazione. Ciò può essere verificato con qualunque dei mezzi sopraindicati.

Finalmente un cristallo birifrangente è allo stesso modo, non solo polariscopio, ma ancora polarizzatore. Lo si può constatare col polariscopio riflettore, col rifrangente, ma più facile e più elegante riesce l'esperienza, quando si adoperi una lamina di tormalina od un altro cristallo birifrangente. Se sopra una tormalina si ricevono, uno dopo l'altro, i due fascetti luminosi trasmessi da un cristallo uniasse, quando l'asse della tormalina è parallelo alla sezione principale del cristallo rimane estinto il raggio ordinario, e quando il medesimo asse è perpendicolare alla sezione stessa viene estinto il raggio straordinario. Se poi si ricevono simultaneamente sopra un cristallo birifrangente i due raggi provenienti da un altro cristallo simile, collocato in modo che le sezioni principali sieno tra loro parallele o perpendicolari, invece delle quattro imagini, che si vedrebbero allorchè la luce fosse naturale, se ne veggono due sole. In tutte le altre

posizioni poi, nelle quali le due sezioni non sono tra loro nè parallele nè perpendicolari, le quattro imagini si manifestano sempre ma con diversa intensità, tranne il caso in cui l'una delle due sezioni sia inclinata sull'altra ad angolo di 45°. Se invece di due qualunque cristalli si soprappongono due tormaline, in guisa che una almeno possa girare nel suo piano, si ottiene il più semplice apparato di polarizzazione, in cui una delle tormaline fa l'ufficio di polarizzatore, e l'altra di polariscopio. Un siffatto sistema è trasparente quando i due assi delle tormaline sono paralleli, ed è opaco quando i due assi stessi sono perpendicolari.

484. **Apparato di Norremberg**. Una bella applicazione degli strumenti descritti, o meglio un ingegnoso trovato che rende facile l'uso dei polariscopj e polarizzatori menzionati, è *l'apparato di Norremberg.* La parte principale d'un siffatto strumento è una lastra di vetro *n* (fig. 455), sostenuta da due aste metalliche *b* e *d*, e mobile attorno un'asse orizzontale, munito di un piccolo indice, che scorre sopra un cerchio graduato *c*, a segnare l'inclinazione della lastra. Sul piano dell'apparato, fra le due aste havvi uno specchio *p* di vetro, orizzontale e fisso. Le estremità superiori delle due aste medesime portano un anello graduato *i*, nel quale può girare un disco circolare *o*, forato al centro e munito di una lastra *m* di vetro nero, che fa colla verticale un angolo eguale a quello di polarizzazione del vetro. Un anello *k*, che, per mezzo di una vite di pressione, può essere fermato a differenti altezze lungo le due aste, sostiene un secondo anello *a*, unito ad un diaframma nero *e*, al cui centro è praticata una apertura circolare. Il disco *o*, colla lamina *m*, può essere levato dall'apparato, e si può sostituirgli un altro disco eguale, avente al centro un foro minore, a cui è applicato un tubo *g* (fig. 456). In questo tubo

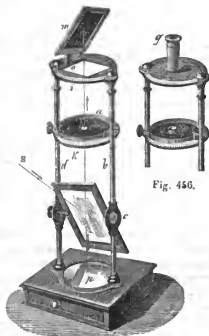



Fig. 455. Fig. 456.

si colloca, ad arbitrio dell'esperimentatore, un prisma birifrangente, oppure una piccola lastra di tormalina.

Col descritto apparato di Norremberg si possono ripetere quasi tutte le principali esperienze circa la polarizzazione della luce. Di fatto, se s'inclina la lastra di vetro *n*, in modo che faccia coll'orizzonte un angolo di 54°, 75', i raggi luminosi che cadono sulla lastra sotto questo angolo si polarizzano, riflettendosi nella direzione *np* verso lo specchio, che li rimanda nella direzione *pnr*. Allora basta girare la parte superiore e mobile dell'apparato, perchè si manifestino i fenomeni di polarizzazione. Se il disco *o* porta la lastra *m* di vetro nero, in ogni rivoluzione sonvi due posizioni nelle quali il fascio incidente *nr* non è riflesso. Ciò avviene quando il piano d'incidenza sulla lastra *m* è perpendicolare al piano d'incidenza S*np* sulla lastra *n*. In ogni altra posizione il fascio polarizzato è riflesso dalla lastra *m* in quantità variabile, che è massima quando i piani d'incidenza sulle due lastre sono paralleli. Se invece il disco *o* porta il tubo *g*, in cui sia collocato un prisma birifrangente, per ogni rivoluzione di questo tubo si ha un'imagine sola, quando la sezione principale del prisma è parallela o perpendicolare al piano di polarizzazione sulla lastra *n*. In ogni altra posizione del prisma si veggono sempre due imagini, le quali variano periodicamente nell'intensità. Se finalmente nel tubo *g* è collocata una lastra di tormalina, il fascio polarizzato si estingue completamente in ogni giro allorchè l'asse della tormalina è parallelo al piano d'incidenza S*np*.

485. **Altri modi di polarizzazione della luce**. I fatti esposti provano che la luce può essere polarizzata per riflessione, per rifrazione semplice e per rifrazione doppia. La luce per riflessione è polarizzata nel piano d'incidenza, e per rifrazione è polarizzata nel piano perpendicolare al piano d'incidenza. Ma non si creda che questi siano i soli mezzi di ottenere la polarizzazione della luce; anche la luce diretta, emessa o diffusa dà spesso indizio di essere polarizzata. La luce irradiata molto obliquamente da un solido o da un liquido incandescente è polarizzata nel piano perpendicolare al piano d'emergenza. Di fatto, quando si guardi attraverso di una tormalina o di un prisma di Nicol, una lamina metallica arroventata, si conosce che la luce è naturale finchè l'obliquità dei raggi emessi dalla lamina è piccola; ma col crescere di questa arriva un istante in cui la luce si mostra polarizzata nel piano normale al piano d'emergenza. La luce però emessa dalle masse gasose incandescenti non si polarizza sensibilmente per emissione; giacchè quando si ripeta l'esperienza precedente sopra la fiamma di una candela,

o sopra qualunque altra massa gasosa incandescente, la luce è sempre naturale, anche sotto le incidenze più oblique.

La luce diffusa dall'atmosfera, quando il cielo è sereno, è in certe direzioni polarizzata. Quando si osserva questa luce nella direzione del sole, la si trova naturale; ma discostandosi da una parte o dall'altra da questa direzione, si hanno indizj certi ch'essa è polarizzata nel piano che passa pel sole, per il punto osservato, e per l'occhio dell'osservatore. La quantità di luce polarizzata cresce fino alla distanza di circa 90° dal sole, poi diminuisce fino ad un certo *punto neutro*, che se non vi fossero cause disturbatrici, quali le irradiazioni comunicate alla atmosfera dagli altri corpi celesti, ed anche dalla terra, sarebbe diametralmente opposto al sole, ma in realtà suol essere tra i 160° ed i 150°. Wheastone imaginò un orologio, per mezzo del quale si conosca l'ora del giorno dall'osservazione della luce polarizzata del cielo sereno nella direzione del polo.

486. **Spiegazione della polarizzazione nel sistema delle ondulazioni**. I fisici attualmente ammettono che le vibrazioni dell'etere, capaci di agire sopra la nostra retina, si compiono sempre in direzioni normali a quella dei raggi luminosi, ossia parallele alla superficie dell'onda; ma che, mentre nella luce naturale avvengono in tutte le suddette direzioni, nella luce polarizzata invece siano limitate, per la maggior parte, al piano che passa pel raggio polarizzato, cioè perpendicolare al piano di polarizzazione.

In questa ipotesi, che nel sistema delle ondulazioni è una conseguenza dell'analisi matematica, e che per altro ha un appoggio nei fatti, è facile rendersi conto dei fenomeni di polarizzazione. Imperocchè è chiaro che il raggio polarizzato sarà riflesso dalla superficie di un corpo, quando le vibrazioni dell'etere saranno parallele a questa; ma ciò non potrà avvenire quando le vibrazioni stesse saranno perpendicolari alla superficie riflettente. Invece il raggio polarizzato attraverserà più facilmente una pila di lastre di vetro, se le vibrazioni dell'etere saranno perpendicolari alla pila stessa. Parimenti se il raggio polarizzato è trasmesso da una lamina di tormalina tagliata parallelamente all'asse, allorchè le vibrazioni dell'etere sono parallele a questo asse medesimo, è chiaro il raggio stesso sarà assorbito nel caso in cui le vibrazioni dell'etere sieno perpendicolari a quella retta. Qui la tormalina fa precisamente come uno staccio, il quale mentre lascia passare un filo che gli si presenta in direzione parallela ai fori, arresta però tutti quei fili che lo incontrano trasversalmente.

ARTICOLO SECONDO

POLARIZZAZIONE CROMATICA.

487. **Descrizione dei fenomeni.** La luce polarizzata presenta anche una colorazione caratteristica. L'apparato che serve a ripetere facilmente tutte le esperienze principali relative a questo fenomeno, è quello di Norremberg.

Quando nel tubo *g* (fig. 456) di questo apparato è messo un prisma birifrangente, ed al foro *e* è applicata una lamina di un cristallo birifrangente, tagliata parallelamente all'asse, si osservano i seguenti fenomeni.

1.° Teniamo fermo il prisma in modo che la sezione principale di esso sia parallela al piano di polarizzazione dei raggi incidenti, e facciamo rotare la lamina: in generale vedremo due imagini dell'apertura del diaframma, che limita il fascio incidente; e, se la lamina è abbastanza sottile, queste due imagini ci offriranno colori complementari. Siffatti colori hanno il massimo splendore, quando la sezione principale della lamina forma un angolo di 45° con quella del prisma; e nella rotazione della lamina impallidiscono senza cambiare di tinta fino al punto in cui la sezione principale della lamina coincide con quella del prisma. In questo caso scompare l'imagine ordinaria; e nel caso in cui quelle due sezioni sono perpendicolari, scompare l'imagine straordinaria. L'imagine unica è bianca; ed allorchè si sorpassa la posizione nella quale essa si manifesta, i colori cangiano d'imagine fino ad una novella estinzione d'una di esse.

2.° Se il prisma è fisso e la sezione principale di esso è invece perpendicolare al piano di polarizzazione del fascio incidente, nella rotazione della lamina si osservano fenomeni analoghi ai precedenti; solamente che le due imagini si scambiano i colori, e l'una scompare alla posizione in cui, nell'esperienza precedente, scompariva l'altra, e viceversa.

3.° Cambiando le condizioni dell'esperimento, si muta anche l'aspetto del curioso fenomeno. Mantenendo la lamina in quella posizione secondo cui la sezione principale di essa è perpendicolare o parallela al piano di polarizzazione del fascio incidente, e facendo rotare il prisma, le due imagini sono bianche qualunque sia l'inclinazione della sezione principale del prisma in ordine al piano di polarizzazione del fascio incidente. L'una però o l'altra di esse scompare, allorchè la sezione principale del prisma è parallela o perpendicolare a quella della lamina, o,

ciò che è lo stesso, al piano di polarizzazione del fascio incidente. Le due imagini sono eguali quando la sezione principale del prisma fa con questo medesimo piano un angolo di 45°.

4.° Quando la lamina è tenuta ferma in modo che la sezione principale di essa faccia un angolo di 45° col piano di polarizzazione, e si fa rotare il prisma, le due imagini sono bianche, eguali, ed hanno la massima intensità se la sezione principale del prisma è parallela o perpendicolare a quella della lamina. Ma in ogni altra posizione le due imagini mostrano colori complementari. Ciò avviene anche nel caso in cui la lamina è fissata in modo che la sezione principale di essa non sia nè parallela, nè perpendicolare, nè faccia un angolo di 45° col piano di polarizzazione.

Se invece di un prisma birifrangente si adopera un polariscopio che dà un'imagine sola, questa imagine manifesta i fenomeni dell' imagine ordinaria o dell' imagine straordinaria secondo la specie del polariscopio stesso.

488. **Influenza delle variazioni nella natura e nello spessore della lamina interposta, e nell' angolo che il fascio polarizzato fa colla superficie della lamina stessa**. Nei fenomeni descritti, variando la grossezza della lamina interposta, senza cangiare la sostanza, nè le altre circostanze che concorrono a produrli, si osserva una notevole modificazione nelle tinte delle imagini. Innanzi tutto la loro intensità aumenta colla grossezza fino ad un certo limite, che per la mica è di $0^{mm},88$, pel quarzo e pel solfato di calce è di $0^{mm},55$, e per lo spato d'Islanda è di $0^{mm},025$. Inoltre le tinte prodotte da lamine di una stessa sostanza e di grossezza crescente variano allo stesso modo delle tinte prodotte dagli strati d'aria che aumentano progressivamente di spessore negli anelli colorati di Newton. Le spessezze però corrispondenti alle medesime tinte sono molto maggiori per le lamine cristalline esposte alla luce polarizzata, che per gli strati d'aria nei fenomeni degli anelli colorati. Così, per esempio, per una tinta dello stesso ordine la grossezza della mica deve essere 440 volte quella dello strato d'aria, lo spessore del cristallo di rocca e del solfato di calce deve essere 230 volte quello del medesimo strato; ed il colore prodotto da una lastrina di spato d'Islanda è lo stesso di quello che si otterrebbe con uno strato d'aria appena 13 volte più sottile. Da ciò consegue che con un medesimo cristallo si potrà ottenere una colorazione qualunque nella luce polarizzata, ed anche riprodurre l'apparenza degli anelli colorati di Newton, dando alla lastra una concavità sferica.

Finalmente, se la superficie del cristallo cessa di essere perpendicolare alla direzione del fascio incidente, i colori variano secondo l'angolo formato; e quindi, anche a questo modo, si può con una stessa lamina dare differenti tinte alla luce polarizzata. L'obliquità ha qui la medesima influenza della grossezza.

489. **Spiegazione della colorazione prodotta dalla luce polarizzata**. Fresnel diede pel primo una soddisfacente spiegazione dei fenomeni descritti, ammettendo ch'essi sono effetti d'interferenza dei raggi polarizzati. Per comprendere la teorica di Fresnel fa d'uopo, innanzi tutto, sapere che l'interferenza dei raggi polarizzati è soggetta alle seguenti leggi. 1.° Due raggi polarizzati nel medesimo verso, cioè in piani paralleli, interferiscono fra loro non altrimenti dei raggi naturali. 2.° Due raggi polarizzati in verso contrario, cioè in piani perpendicolari, non interferiscono nel caso in cui due raggi naturali interferirebbero. 3.° Due raggi polarizzati in verso contrario, quando sono ricondotti ad un medesimo piano, mediante un polariscopio, non interferiscono se hanno avuto origine da un fascio di luce naturale, e sono capaci d'interferire se nacquero da un fascetto di luce polarizzata. 4.° In questo caso, in cui il fascetto primitivo è polarizzato, l'interferenza dei due raggi polarizzati che ne risultano, dipende dalla differenza fra i loro modi di procedere (nella lamina cristallizzata che li polarizza in senso inverso), aumentata o no, secondo le circostanze, della lunghezza di una semi-ondulazione. Queste leggi possono darci una completa spiegazione dei fenomeni di polarizzazione cromatica. Supponiamo che l'asse della lamina cristallina, collocata in *e* (fig. 456) sull'apparato di Norremberg, faccia un angolo di 45° col piano di polarizzazione del fascio incidente. Quando la luce polarizzata attraversa questa lamina, si divide in due raggi, che diremo A e B, diversamente intensi, e polarizzati in due piani, l'uno dei quali fa un angolo di + 45° col piano primitivo di polarizzazione e l'altro fa col piano stesso un angolo di — 45°. Per conseguenza questi due raggi, polarizzati in senso inverso, od in piani perpendicolari, non possono interferire fra loro. Ma non sarà così, se essi verranno ridotti in un medesimo piano di polarizzazione, per mezzo del prisma birifrangente, posto in *g* (la cui sezione principale supporremo collocata nel piano primitivo di polarizzazione). Ambedue i fasci luminosi, che sortono dalla lamina, attraversando il prisma birifrangente, si suddividono in due altri. Supponiamo che il raggio ordinario A dia luogo ai due a' ed a'', ed il raggio straordinario B si divida nei due b' e b''. I raggi a' e b' sono polarizzati nel medesimo senso, cioè

si trovano in uno stesso piano, che è quello della sezione principale del prisma; e parimenti i due raggi a'' e b'' sono polarizzati in uno stesso piano perpendicolare al primo. Quindi i raggi di ciascuna coppia potranno interferire fra loro, e interferiranno di fatto quelli che saranno in disaccordo nelle ondulazioni. Il calcolo esamina tutte le circostanze del fenomeno e trova che i risultati dell'esperienza concordano colle conseguenze della teorica di Fresnel. Ma un siffatto lavoro oltrepassa i limiti di un trattato elementare.

490. **Anelli colorati prodotti dai raggi di un fascio polarizzato che attraversano un cristallo uniasse sotto differenti obliquità.** Nelle esperienze descritte la luce attraversa la lamina cristallizzata in direzione perpendicolare alle facce di essa. Ma la colorazione diviene ancora più sorprendente, quando i raggi incidenti attraversano la lamina sotto obliquità differenti. Per osservare questi nuovi fenomeni si adopera la *pinzetta a tormalina*, la quale si compone di due tormaline, tagliate parallelamente all'asse, e incastrate al centro forato di due dischi d'ottone (fig. 457). Questi due dischi sono uniti per mezzo di una lamina elastica, e l'esperimentatore può farli rotare intorno al loro asse, non che soprapporli.

Fig. 457.

Quando fra le due tormaline si pone una lastra tagliata da un cristallo uniasse, perpendicolarmente all'asse medesimo, e fissata al centro di un disco di sughero M, si vede una lunga serie di anelli colorati analoghi agli anelli di Newton. Se la luce che illumina l'apparato è semplice, gli anelli sono alternativamente oscuri e tinti del colore della luce stessa, ed aumentano o diminuiscono di diametro secondo che aumenta o diminuisce la rifrangibilità della luce adoperata. Se l'esperimento è fatto col favore della luce bianca, gli anelli sono iridescenti e molto brillanti. In ogni caso essi diminuiscono di grandezza a misura che aumenta lo spessore della lamina, e cessano di manifestarsi allorchè questo spessore ha raggiunto un certo limite. È però da osservarsi che gli anelli estinti mentre la luce è bianca, possono ricomparire colla luce omogenea. La posizione della lastra birifrangente non ha influenza

alcuna nel fenomeno. Ma non è lo stesso della posizione relativa delle due tormaline. Quando, per esempio, la lamina è di spato d'Islanda, e di una grossezza non minore di un millimetro e non maggiore di 20, se si fa rotare una tormalina, all'istante in cui l'asse di essa diventa perpendicolare a quello dell'altra gli anelli appariscono attraversati da una croce nera (fig. 458), tanto più estesa quanto più sottile è il cristallo; ed al punto in cui gli assi medesimi sono paralleli, la croce nera si scambia in un'altra bianca (fig. 459), e la nuova imagine, in tutte le sue parti, è complementare della prima. Tutti i cristalli uniassi, ad eccezione del quarzo, tagliati in lamine perpendicolari all'asse, offrono press'a poco gli stessi fenomeni. Ma spesse volte la croce è mal terminata, e gli anelli sono sformati, per effetto delle piccole irregolarità inevitabili nella struttura cristallina di molte sostanze.

Fig. 458. Fig. 459. Fig. 460.

Per comprendere la causa di queste singolari apparenze, basta osservare che le tre lamine negli esperimenti descritti sono attraversate da un fascio luminoso conico convergente, il cui vertice è nell'occhio dell'osservatore. Per conseguenza alcuni raggi passano il cristallo in direzione perpendicolare alla superficie di esso ed altri in direzione obliqua. I primi giacciono in una sezione principale del cristallo (perchè la lamina è tagliata perpendicolarmente all'asse), e quindi lo traversano in direzione parallela o perpendicolare al piano di polarizzazione del fascio incidente, non si dividono, e rimangono polarizzati nello stesso piano. Gli altri oltrepassano la lamina in direzione nè parallela nè perpendicolare al piano di polarizzazione del fascio incidente, si dividono nei due raggi ordinario e straordinario, e soffrono un ritardo relativo tanto più grande quanto maggiore è la loro obliquità. Per conseguenza i primi raggi si trasmettono senza interferire, formando la croce bianca, quando gli assi delle tormaline sono paralleli; e sono assorbiti totalmente, dando luogo alla croce nera, quando gli assi stessi sono perpendicolari; e gli

altri raggi, che formano diversi sistemi circolari di raggi ordinarj e straordinarj, gli uni in ritardo rispetto agli altri, ed aventi obliquità tanto più grande quanto maggiore è la loro distanza dalla linea d'intersezione dei due piani, nei quali il fascio incidente rimane indiviso, interferiscono fra loro formando gli anelli concentrici.

491. **Anelli colorati prodotti dalla luce polarizzata che attraversa un cristallo biasse.** Anche i cristalli a due assi producono gli anelli colorati, i quali però hanno in questo caso una forma più complicata. Quando fra le due tormaline, disposte in modo d'avere gli assi perpendicolari, si pone una lastra tagliata da un cristallo biasse perpendicolarmente ad uno degli assi, attorno a questo asse appajono gli anelli, analoghi a quelli osservati nel caso precedente, ma aventi una forma ovale, tanto più pronunciata quanto maggiore è l'angolo dei due assi del cristallo. Una fascia nera, che si allarga verso gli estremi, bipartisce gli anelli. Questa fascia è rettilinea (fig. 460) e diretta nel piano degli assi, se questo piano è parallelo o perpendicolare al piano primitivo di polarizzazione; è piegata ad arco iperbolico, avente la convessità dalla parte dell'altro asse, se quella condizione non si verifica.

Quando poi la lastra frapposta alle due tormaline, ancora ad assi perpendicolari, è tagliata normalmente alla linea media, o bisettrice dell'angolo dei due assi, se quest'angolo è abbastanza piccolo, si veggono due sistemi di anelli più o meno schiacciati, i quali ad una certa distanza dai centri (che corrispondono ai due assi) si uniscono insieme a formare linee ovali simmetriche, le une racchiuse dalle altre, e attraversate da fasce oscure, che variano di forma colla natura e colla posizione del cristallo. La figura 461 rappresenta la forma degli anelli, ottenuti col nitrato di potassa, nel caso in cui il piano dei due assi è parallelo o perpendicolare al piano primitivo di polarizzazione. Se si fa girare la lastra del cristallo, senza cambiare la disposizione delle tormaline, la croce nera è gradatamente trasformata in due curve. Dopo la rotazione di 22° circa, si ottiene il disegno rappresentato dalla figura 462; ed arrivati a 45° l'aspetto è simile a quello di due iperbole opposte (fig. 463). Se l'angolo dei due assi del cristallo sorpassa i 20°, od al più i 25°, i due sistemi di curve non appajono simultaneamente. Così, per esempio, avviene nell'arragonite, che produce l'apparenza offerta dalla figura 460.

In ogni caso poi, qualunque sia il modo di preparazione

della lastra, quando le due tormaline hanno gli assi paralleli, la fascia, o la croce nera, è surrogata da un'altra bianca, ed anche i colori degli anelli si scambiano ancora coi loro complementari.

Fig. 461. Fig. 462. Fig. 463.

I principj che hanno servito a spiegare gli anelli e la croce dei cristalli uniassi, danno completa ragione anche delle vaghe apparenze che si ottengono coi cristalli biassi. Ma per far questo di ciascuna di esse, è necessario il soccorso del calcolo.

492. **Colori prodotti dal vetro compresso e scaldato.** Alcune sostanze di struttura omogenea che naturalmente non sono dotati di potere birifrangente, lo possono acquistare, modificando con qualche mezzo estrinseco la regolare aggregazione delle loro molecole. Il vetro fra tutte le sostanze ottiene questa facoltà nella maniera la più facile e la meglio pronunciata. Una lastra di vetro compressa fortemente in un senso, curvata, o raffreddata rapidamente, dopo d'averla esposta al calor rosso, quando viene attraversata da un fascio di luce polarizzata, manifesta fenomeni di colorazione affatto analoghi a quelli osservati nei cristalli birifrangenti, ma dipendenti dalla figura della lastra medesima. L'apparato di Norremberg è opportunissimo anche a queste esperienze, ed i colori sono forse più brillanti, quando la lastra è posta sullo specchio inferiore. Se il polariscopio è situato nella sezione oscura e i lati della lastra sono paralleli o perpendicolari al piano di polarizzazione, si vede una croce nera nel mezzo (fig. 464) ed alcuni nastri vivamente colorati ai quattro angoli. La croce diviene bianca (fig. 465), ed i colori dei nastri si scambiano coi complementari, allorchè si fa rotare il polariscopio di un angolo retto. Invece se, mantenendo lo strumento nella primitiva posizione, facciamo girare la lastra finchè una diagonale di essa divenga parallela al piano di polarizzazione, le brac-

cia della croce si curvano a forma di S (fig. 466). L'apparenza offertaci dalla fig. 467 è quella ottenuta nel caso precedente con due lastre rettangolari soprapposte; e le figure 468 e 469 rap-

Fig. 465. Fig. 466. Fig 468.

Fig. 461. Fig. 467. Fig. 469.

presentano l'aspetto di una lastra circolare nelle prime due accennate circostanze. Con una lastra rettangolare, triangolare, esagonale, posta nelle medesime circostanze si ottengono figure alquanto diverse.

ARTICOLO TERZO

POLARIZZAZIONE ELITTICA E CIRCOLARE.

495. **Polarizzazione rettilinea — circolare — elittica.** Quando le trajettorie, parallele e normali al raggio polarizzato, descritte dalle molecole eteree nel piano che passa pel raggio stesso, sono linee rette, come nei fenomeni osservati finora, la polarizzazione dicesi *rettilinea*. Ma in qualche caso la natura dei fatti mostra che quelle trajettorie cessano di essere rettilinee, e sono circolari od elittiche. Allora la polarizzazione dicesi *circolare* od *elittica*.

Lo studio di questi fenomeni non appartiene alla fisica elementare, giacchè esige il concorso del calcolo superiore; epperò

ci limiteremo ad indicare il criterio per distinguere la polarizzazione circolare dalla ellittica, ed accenneremo alcuni fatti principali della polarizzazione circolare, che possono essere conosciuti anche senza il sussidio del calcolo.

494. **Carattere della polarizzazione ellittica — e circolare.** Un fascio di raggi luminosi si dice polarizzato circolarmente se, osservato con un polariscopio, presenta la stessa intensità in tutte le direzioni, come la luce naturale, e nello stesso tempo, a differenza della luce naturale, si tinge a diversi colori, per l'interposizione di una lamina cristallizzata. Invece un fascio di luce è polarizzato elitticamente quando, visto attraverso un polariscopio, mostra in due posizioni rettangolari un massimo ed un minimo di intensità, come la luce parzialmente polarizzata in un piano, e nell'atto stesso, se lo si fa passare attraverso una lamina cristallizzata, manifesta pure una colorazione, ma diversa da quella che nelle medesime circostanze sarebbe prodotta da un raggio polarizzato parzialmente.

495. **Fenomeni principali di polarizzazione circolare.** Un fascetto luminoso polarizzato rettilineamente, quando esce da una lamina di quarzo, tagliata perpendicolarmente all'asse, è ancora polarizzato, ma in un piano diverso dal primitivo. E qui ci si presenta un'altra singolarità: la rotazione del piano può avvenire in due versi contrarj, cioè alla destra od alla sinistra dell'osservatore. Le sostanze che come il quarzo, fanno deviare o rotare il piano di polarizzazione, si dicono dotate di *potere rotatorio;* e si appellano *destrogire*, se lo fanno deviare verso la destra, e *levogire* se verso la sinistra.

Seebeck ed Arago furono i primi ad osservare un siffatto fenomeno; Biot in seguito ne conobbe le leggi che qui esponiamo.

1.° Una sostanza fa rotare il piano di polarizzazione di una quantità tanto maggiore quanto più rifrangibile è il colore del raggio polarizzato. Per una lastra di quarzo, avente lo spessore di un millimetro, gli angoli di rotazione sono i seguenti:

Riga B di Fraunhofer	15°, 30′
Limite del rosso e del ranciato	20°, 47′
» del ranciato e del giallo	22°, 31′
» del giallo e del verde	25°, 68′
» del verde e dell'azzurro	30°, 04′
» dell'azzurro e dell'indaco	34°, 57′
» dell'indaco e del violetto	37°, 68′
Riga H	47°, 15′.

Si ammette che le rotazioni del piano di polarizzazione siano approssimativamente in ragione inversa dei quadrati delle lunghezze delle ondulazioni.

2.º Una sostanza, non variando il colore del raggio polarizzato, fa rotare il piano di polarizzazione di una quantità che aumenta collo spessore della lastra, ovvero, costante la spessezza, cresce colla temperatura.

3.º Le circostanze che fanno variare l'ampiezza della rotazione in un senso, fanno variare press'a poco della stessa quantità la rotazione del senso opposto.

Colorazione prodotta dalla polarizzazione circolare. Dopo quanto abbiamo esposto, è facile il prevedere i fenomeni che si dovranno manifestare quando con un prisma birifrangente si guardi una lamina di quarzo, della grossezza di alcuni millimetri, tagliata perpendicolarmente all'asse, e attraversata da un fascio luminoso polarizzato. Qualunque sia la posizione del prisma birifrangente, appajono due imagini colorate, le tinte delle quali sono reciprocamente complementari. Se si muove il prisma birifrangente a destra od a sinistra, le due imagini assumono successivamente tutti i colori dello spettro, ma senza cessare di essere complementari. È facile determinare la causa di questo curioso fenomeno. In simile esperimento la luce polarizzata è bianca: i diversi colori semplici, che compongono la luce bianca, emergendo dalla lamina di quarzo, si trovano polarizzati in piani differenti; e dal prisma birifrangente vengono decomposti in due altri polarizzati ad angoli retti. Per conseguenza i diversi colori semplici si partiscono inegualmente fra l'imagine ordinaria e la straordinaria del prisma. Tutto ciò si può facilmente verificare, collocando sul diaframma *e* (fig. 455) dell'apparato di Norremberg, una lastra di quarzo, tagliata perpendicolarmente all'asse, e fissata in un anello di sughero.

496. **Potere rotatorio dei liquidi**. Parecchi altri cristalli possono deviare il piano di polarizzazione: tali sono il cinabro, il solfato di stricnina, il clorato, il bromato e l'acetato di soda, l'acetato d'uranio, ecc. Anche molti liquidi e diverse soluzioni mostrano di possedere questa facoltà. Chi amasse accertarsi se un liquido sia dotato di potere rotatorio, può esperimentarlo facilmente versandone una porzione in un tubo, chiuso alle estremità da due lastre di vetro molto limpide ed a facce ben parallele, che si colloca verticalmente in *e* (fig. 455) sull'apparato di Norremberg, dopo d'aver fermato il polariscopio nella sezione oscura. Se il liquido è capace di spostare il piano di polarizzazione, la luce riappare alla interposizione di esso, e

per farla scomparire nuovamente fa d' uopo girare il polariscopio di una quantità determinata. Con questo processo si trova che la soluzione dello zuccaro cristallizzabile, l'essenza di limone, la soluzione alcoolica di canfora, la destrina e l'acido tartarico sono destrogire, mentre le soluzioni di gomma arabica, di lauro e dello zuccaro dei frutti acidi sono levogire. Ma il potere rotatorio di questi e degli altri liquidi è molto inferiore a quello del quarzo, perchè quando, ridotti allo spessore di un millimetro, sono attraversati dalla luce rossa la rotazione assoluta della soluzione dello zuccaro cristallizzabile è di 33′, 14″, quella dell'essenza di limone è di 26′, 10″, quella della soluzione alcoolica di canfora è di 1′, 15″ e quella dell' essenza di trementina è di 19′, 25″; mentre la rotazione del quarzo, come già osservammo, arriva a 20°.

Apparato di Biot per misurare il potere rotatorio dei liquidi. Quando si vogliono avere risultati molto precisi, all'apparato di Norremberg si sostituisce quello costrutto da Biot allo scopo appunto di determinare il potere rotatorio dei liquidi. L'apparato di Biot è formato da un tubo *d* (fig. 470), lungo circa 20 cen-

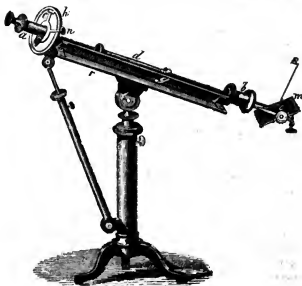



Fig. 470.

timetri, chiuso alle estremità da due lastre di vetro a facce esattamente parallele, e posto in un canale di ottone *g*, il quale è

fisso ad un sostegno *r*. In questo tubo si versa il liquido che si deve osservare. Esso riceve la luce polarizzata da uno specchio *m* di vetro nero, che per mezzo di una vite viene inclinato più o meno sul raggio incidente. Al centro del circolo graduato *h*, nel tubo *a*, è collocato in direzione perpendicolare all'asse *bda*, un prisma birifrangente acromatizzato, che a volontà dell'esperimentatore può essere mosso attorno all'asse dell'apparato per mezzo di un bottone *n*. Per conoscere se il liquido contenuto nel tubo *d* abbia o no potere rotatorio, si gira il prisma birifrangente in modo che si trovi nella sezione oscura, cioè in modo che la sezione principale di esso coincida col piano di polarizzazione. Se in questa posizione del prisma riappare la luce, se ne continua il movimento finchè la luce si estingue. La descritta esperienza non riesce bene se non si usa la luce semplice; e perciò si mette nel tubo *a*, fra l'occhio ed il prisma birifrangente, un vetro colorato in rosso coll' ossido di rame, il quale non trasmette in modo sensibile che la sola luce rossa. Se la luce che attraversa l'apparato non è semplice, l'imagine straordinaria non scompare mai completamente in nessuna posizione del prisma, ma nella rotazione di esso cambia solo di tinta; perchè i diversi raggi colorati sono inegualmente deviati, e la luce bianca viene decomposta nel passaggio da un liquido attivo.

Il potere rotatorio di un liquido o di una soluzione chiamasi ***molecolare***, per esprimere che esso dipende dalla natura e costituzione delle molecole, mentre il potere rotatorio dei cristalli sembra dipendere dal modo di aggregazione delle molecole.

Un liquido, od una soluzione, devia il piano di polarizzazione per una quantità costante, finchè le sue molecole attive non soffrono qualche cambiamento di costituzione o di chimica composizione. Ma quando ciò avvenga, il potere rotatorio, generalmente parlando, viene alterato: in qualche caso aumenta, in qualche altro diminuisce fino ad annullarsi, e non rare volte si scambia.

La soluzione di zuccaro cristallizzabile aumenta di poter rotatorio in rapporto al suo grado di concentrazione; e per conseguenza dall'angolo di rotazione si può dedurre la quantità dello zuccaro contenuto in un liquido. Questo fatto suggerì l'invenzione del saccarimetro, o misuratore dello zuccaro, notissimo strumento che serve ottimamente nelle raffinerie e nelle dogane a conoscere la qualità di questa sostanza. Ecco che anche queste dottrine hanno conseguenze di manifesta e pratica utilità.

CAPO QUARTO

VISIONE.

497. La visione è il fenomeno nel quale noi conosciamo, per mezzo dell'organo della vista, la forma, i colori, ed in generale tutte le qualità dei corpi che dipendono dalla luce. Essa dicesi *semplice*, quando l'organo della vista è abbandonato alle sole sue forze; e *composta*, se l'organo stesso viene ajutato dagli strumenti particolari destinati ad estenderne i limiti. Ci occuperemo dell'una e dell'altra in due articoli, nei quali dividiamo questo capo.

ARTICOLO PRIMO

VISIONE SEMPLICE.

498. **Organo della visione nell'uomo**. Nell'uomo l'organo della visione consiste principalmente in due globi o bulbi, collocati in due profonde cavità della faccia, dette *orbite*. A ciascuno di questi globi possiamo imprimere diversi movimenti, per mezzo di tre paja di muscoli, che a seconda della loro direzione e posizione hanno ricevuto nomi particolari. Col favore dei due muscoli *retti*, inferiore e superiore, lo muoviamo in un piano verticale; i due muscoli *retti-esterni*, ci servono a spostarlo in un piano orizzontale; e coi due muscoli *obliqui* lo facciamo rotare attorno un asse diretto dalla parte anteriore alla posteriore.

Descrizione del globo d'un occhio. La figura laterale (fig. 471) rappresenta una sezione del globo di un occhio, con dimensioni press'a poco doppie delle naturali.

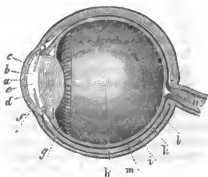



Fig. 471.

Sclerotica — cornea. Questo bulbo è costituito di parecchie membrane sovrapposte. L'esteriore è formata da due parti a curvature differenti. L'una *i* molto resistente, bianca ed opaca, costituisce la porzione maggiore dell'inviluppo, e si chiama *cornea opaca*, o *sclerotica:* il *bianco dell'occhio* è una zona visibile della sclerotica. L'altra *a* di raggio

più piccolo, chiude il foro lasciato dalla sclerotica nella parte anteriore del globo, è trasparente ed incolora; ha una forma sensibilmente eguale a quella di una calotta sferica del diametro alla base di 11 o 12 millimetri; e si chiama *cornea trasparente,* o semplicemente *cornea.* Così la figura del bulbo descritto somiglia a quella di una sfera bianca, che avesse un foro, e nel foro fosse incassato con perfetta commettitura un vetro da orologio più convesso della sfera, e perciò sporgente. La sclerotica e la cornea mostrano struttura differente, sono congiunte in modo tale che alcuni anatomici le hanno considerate come una membrana unica.

Iride — pupilla. Dietro alla cornea trasparente è tesa una membrana contrattile circolare *d*, detta *iride*, la quale, non precisamente nel centro, ma un po' verso la linea mediana del corpo offre un'apertura circolare, denominata *pupilla.* L'iride appare diversamente colorata nei diversi individui; ma essa è trasparente, ed il colore di cui si veste dipende da una membrana sottilissima, detta *uvea*, che la tappezza internamente. L'iride è formata da una reticella delicatissima di fibre muscolari, alcune delle quali si dirigono dall'orlo della pupilla verso la sclerotica, a guisa di raggi, mentre altre circondano la pupilla stessa a serie anullari concentriche. Per questa struttura particolare dell'iride, noi possiamo ingrandire la pupilla per la contrazione delle fibre rettilinee, e restringerla per la contrazione delle fibre circolari.

Cristallino. Poco lontano dalla pupilla si trova il *cristallino f,* il quale è un corpo lenticolare trasparente, in cui la faccia posteriore è più convessa dell'anteriore. Esso contiene albumina e gelatina, ed è formato da una serie di strati sopraposti gli uni agli altri, quasi sferici e concentrici, che dalla superficie al centro aumentano di durezza e di poter rifrangente. Secondo Brewster e Gordon l'indice di rifrazione degli strati esteriori sarebbe 1,377, quello degli strati medii sarebbe 1,386, e quello delle parti centrali 1,399. Il cristallino è avviluppato da una membrana pure trasparente e sottilissima, che forma la *capsula* cristallina. La capsula aderisce pel suo lembo ad un'altra membranella detta *corona ciliare g* che lo sostiene. La linea retta, che passa pei centri della pupilla e del cristallino, è l'*asse dell'occhio.*

Camere dell'occhio. L'iride divide lo spazio compreso tra la cornea ed il cristallino in due parti ineguali, dette *camere* dell'occhio, l'una *anteriore b*, e l'altra *posteriore c.* Le due camere, che comunicano fra loro per mezzo della pupilla, contengono un liquido trasparente, detto *umor acqueo,* il quale non è altro che acqua contenente qualche piccola porzione di gelatina e di

albumina. L'iride è dunque immersa nell'umor acqueo. L'indice di rifrazione di questo liquido è 1,337.

Umor vitreo — membrana jaloide. Al cristallino tien dietro una sostanza eminentemente diafana, dotata della consistenza del chiaro d'uovo: occupa tutta la parte posteriore dell'occhio; ed è distinta col nome di *umor vitreo* o *corpo vitreo*. Questo umore è inviluppato da una membrana delicatissima, detta la membrana *jaloide l*, simile ad una reticella, la quale è un prolungamento di quella che forma la capsula cristallina.

Coroide. La superficie della sclerotica è tappezzata dalla *coroide k*, membrana sottile, sulla quale è distesa la membrana jaloide. La coroide impregnata di una sostanza nera, è quella stessa che forma la corona ciliare, e si estende sulla superficie posteriore dell'iride, ove costituisce l'uvea. La coroide, per mezzo del suo tessuto vascolare, serve a trasportare il sangue nell'interno dell'occhio.

Retina. Il *nervo ottico n*, dal cervello si prolunga fino all'occhio, nel quale penetra lateralmente attraversando la sclerotica e la coroide, e si estende a tappezzare la coroide, sotto la forma di una minutissima reticella *m*, detta *retina*, sensibilissima all'azione della luce ed insensibile a quella di qualunque altro agente esterno.

Dimensioni e raggi di curvatura media delle differenti parti dell'occhio umano. La tavola seguente contiene le dimensioni ed i raggi di media curvatura delle differenti parti dell'occhio nell'uomo.

Profondità dell'occhio	22	a	24	mill.
Raggio di curvatura della sclerotica . .	10	a	11	»
Spessore della sclerotica	1,27	a	1,39	»
Raggio di curvatura della cornea . .	7	a	8	»
Spessore della cornea	0,92	a	1,16	»
Distanza della cornea dall'iride . . .	2,47	a	3,24	»
Diametro dell'iride	11	a	12	»
Diametro della pupilla	3	a	7	»
Distanza della pupilla dal cristallino .	1			»
Diametro del cristallino	9,26	a	9,49	»
Spessore del cristallino	4,63	a	7,17	»
Raggio della faccia anteriore del cristallino	7	a	10	»
Raggio della faccia posteriore del cristallino	5	a	6	»

499. **Formazione delle imagini sulla retina.** Dalla descrizione dell'occhio si comprende che quest'organo può essere considerato come una camera oscura, di cui la pupilla è

l'apertura, il cristallino la lente convergente, e la retina il diaframma su cui si dipinge l'imagine. Il fenomeno pertanto che qui avviene è analogo a quello in cui al fuoco conjugato di una lente biconvessa si forma l'imagine di un oggetto posto all'altro fuoco. Per costruire quest'imagine basta dai differenti punti dell'oggetto condurre gli assi secondarj che passano pel centro ottico del cristallino (fig. 472), o meglio del sistema lenticolare formato dal cristallino e dall'umore acqueo. L'imagine ottenuta a questo modo è molto piccola, reale e rovesciata. L'impressione della luce dalla retina si trasmette, per l'intermezzo del nervo ottico, fino al cervello.

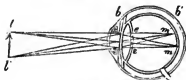



Fig. 472.

Verificazione esperimentale del fenomeno L'esperienza constata che nell'occhio le imagini si formano precisamente come nella camera oscura. Perciò si piglia un occhio d'albino, in cui la coroide, priva di pigmento, lascia libero passaggio alla luce; se ne spoglia la parte posteriore del tessuto cellulare, che la inviluppa, e lo si fissa al foro della camera nera: si veggono allora dipingersi sulla retina le imagini rovesciate degli oggetti esterni.

Houdin nel 12 marzo e nel 21 novembre di questo anno ha comunicata all'Accademia parigina delle scienze la descrizione di una serie di preziosi strumenti, da lui imaginati, coll'ajuto dei quali si arriva non solo ad osservare direttamente i fenomeni della visione nell'occhio di un animale vivente, ma anche a vedere le diverse parti dell'organo stesso. Questi apparati, per altro semplicissimi, sono l'*iridoscopio*, il *pupilloscopio*, il *pupillometro*, il *retinoscopio* ed il *diopsimetro*. Noi tralasciamo la descrizione di questi strumenti; e soltanto diciamo ch'essi servono: 1.° a scorgere direttamente le imagini rovesciate che si formano sulla retina nel momento della visione; 2.° ad esaminare le irregolarità della cornea, la forma ed i movimenti dell'iride, la forma e la grandezza della pupilla in ogni istante, la limpidezza degli umori, le reticelle dei vasi vascolari della retina, ecc., e 3.° a trovare le parti insensibili della retina, non che a misurare l'estensione del campo visuale, di cui parleremo più innanzi. Chi amasse averne più minuta notizia, può leggere il *Comp. Rend.* vol. 62 pag. 617, e vol. 63 pag. 865.

500. **Se l'occhio sia esente dall'aberrazione di sfericità e di rifrangibilità**. Dalla facilità colla quale distinguiamo i dettagli degli oggetti non troppo piccoli, collocati a distanza opportuna dal nostro occhio possiamo persuaderci che l'occhio è

del tutto esente dall'aberrazione di sfericità. Questa perfezione dell'organo della visione dipende da tre circostanze: 1.ª dalle curvature della cornea e delle facce del cristallino, che sono quelle di un elissoide di rivoluzione; 2.ª dalla forma concava della retina, per cui i punti nei quali si dipinge l'imagine sono sensibilmente ad eguali distanze dal centro ottico dell'occhio; e 3.ª dalla presenza dell'iride, diaframma ad apertura variabile, che arresta i raggi troppo lontani dall'asse del cristallino. La pupilla può variare, secondo Young, da 3 a 7 millimetri circa: si restringe, quando guardiamo gli oggetti vicini, o dotati di grande splendore, e si allarga se osserviamo oggetti lontani o poco splendidi.

Non si può dire lo stesso dell'aberrazione di rifrangibilità. Sebbene gli oggetti veduti chiaramente non siano colorati ai lembi, pure l'occhio non è acromatico. Le prove sono le seguenti: 1.º Quando attraverso un prisma si guarda un punto luminoso, si percepisce uno spettro sottile, che non ha dappertutto la medesima larghezza, come dovrebbe essere se il fuoco di ogni colore si formasse sulla retina alla stessa distanza dal cristallino. Al momento in cui si fissa lo sguardo nell'estremità rossa, la parte violetta sembra allargata in ventaglio; e mentre lo si volge alla parte violetta, appare allargata l'altra estremità. Nel primo caso formasi sulla retina il fuoco dei raggi rossi e non quello dei violetti, e nel secondo avviene il contrario. 2.º Quando un oggetto è illuminato con luce rossa la minima distanza a cui lo dobbiamo collocare per vederlo distintamente è maggiore di quella a cui fa d'uopo porlo, al medesimo intento, allorchè è rischiarato da luce violetta. Dunque i diversi colori hanno il fuoco a diverse distanze dal cristallino; epperò l'occhio non è assolutamente acromatico. Tuttavia gli oggetti quando si veggono distintamente non appajono colorati ai lembi, perchè in questa circostanza i raggi del fascetto luminoso penetrano nella pupilla in direzioni quasi normali alle superficie dei diversi mezzi dell'occhio. In ogni caso la dispersione è poca, a motivo della piccola distanza focale dell'occhio.

501. **Condizioni della visione distinta**. La prima condizione necessaria alla visione distinta di un oggetto, è che l'imagine di esso si formi sulla retina. Consegue ciò dall'analogia della visione coi fenomeni che avvengono nella camera oscura, e dal fatto che la semplice azione della luce sulla retina non basta a manifestarci distintamente l'oggetto da cui essa proviene.

La seconda condizione del fenomeno che esaminiamo è che l'imagine formata sulla retina vi produca un'impressione sensibile e determinata.

502. **Facoltà dell'occhio di adattarsi alle diverse distanze degli oggetti.** Perchè l'imagine coincida costantemente colla retina, è necessario che i raggi del fascetto luminoso che penetra nell'occhio, abbiano fra loro una inclinazione costante, oppure, che la facoltà rifrangente dell'occhio varii giusta l'inclinazione reciproca dei raggi incidenti. Quando gli oggetti sono assai lontani dall'osservatore, talchè i raggi che arrivano all'occhio di questi si possano considerare come paralleli, si verifica evidentemente la prima condizione. Ma non è più così quando si tratta di piccole distanze. In questo caso, variando la distanza dell'oggetto, i raggi incidenti cambiano di reciproca divergenza. Alcuni fisici suppongono che ciò abbia poca o nessuna influenza nella chiarezza dell'imagine, e questa possa ancora essere distinta, senza che la facoltà rifrangente dell'occhio si modifichi; perchè, dicono, le variazioni nella distanza focale sono sempre piccolissime. Altri però ammettono che l'occhio si adatti alle distanze degli oggetti, cioè sia una lente a fuoco variabile. Infatti 1.° quando si guarda un oggetto vicino, gli oggetti lontani, posti sulla stessa direzione, si veggono confusamente; e viceversa, se si guardano gli oggetti lontani, quelli più vicini sembrano confusi. Dunque la disposizione dell'occhio per vedere chiaramente gli ogggtti vicini non conviene per la visione distinta dei lontani. 2.° Quando per lungo tempo si guarda un oggetto posto ad una distanza determinata, per esempio, quando si legge un libro o si tien lungamente fisso lo sguardo in un uccello fermo sui rami di un albero, l'occhio si stanca con facilità. E se in appresso si guarda agli oggetti lontani, questi per qualche istante sembrano torbidi; e ci accorgiamo di una difficoltà nel cambiare all'occhio quella disposizione in cui si mantenne per lungo tempo. 3.° Allorchè si osservano cose minute, specialmente se si fa uso di lenti, per vederli distintamente dobbiamo fare uno sforzo, e non si raggiunge l'intento che dopo parecchie prove. Avviene così anche nell'uso del cannocchiale o del stereoscopio. Questi ed altri fatti provano dunque che l'occhio si adatta alle diverse distanze.

Non tutti i fisici però che ammettono questo principio sono concordi nell'indicare quali sieno le modificazioni dell'occhio in questo atto che compie con tanta prontezza. Jurin, Mile, Musschenbroek l'attribuirono ad un cangiamento di curvatura della cornea. Ma Young misurò con particolare esattezza la distanza delle imagini di due fiammelle riflesse dalla superficie della cornea di un individuo, nell'atto in cui questi guardava successivamente oggetti vicini e lontani, collocati sulla medesima direzio-

ne; e la trovò costante. Lo stesso fisico potè vedere con eguale chiarezza oggetti situati a diverse distanze, dopo d'aver posto l'occhio suo in condizioni tali da annullare l'influenza della curvatura nella cornea. Lahire, Leroy, Haller, Sahbatier, Treviranus, Pouillet credettero che l'occhio si aggiustasse alle diverse distanze solo coll'ampliarsi o restringersi della pupilla. Pouillet ammette che i fuochi dei raggi luminosi che traversano il cristallino presso il centro sono a questo più vicini che non i fuochi di quelli che passano dalle parti alla circonferenza. Quindi suppone che, quando si guarda un oggetto situato a piccola distanza dall'occhio, la cui imagine nelle circostanze ordinarie si formerebbe al di là della retina, la pupilla si restringe, ed i raggi, passando solo per la parte centrale del cristallino, formano il loro fuoco sulla retina. Il contrario avverrebbe fissando lo sguardo ad un oggetto lontano. Allora la pupilla, secondo Pouillet, si amplierebbe ed i raggi luminosi, che per la maggior parte attraversano il cristallino in punti meno rifrangenti, formano i loro fuochi più lontani dai punti ove li formerebbero ordinariamente, cioè sulla retina. In questo caso i raggi che passano presso il centro darebbero origine ad un'imagine situata fra il cristallino e la retina: ciò diminuirebbe lo splendore dell'imagine principale, senza nuocere alla chiarezza di essa. Ma anche questa ipotesi è falsa. Imperocchè le variazioni di grandezza nella pupilla dipendono dalla intensità della luce, e non dalla distanza degli oggetti. Colla pupilla assai stretta si veggono gli oggetti lontani, quando sono bene illuminati; e colla pupilla allargata si veggono distintamente gli oggetti vicini, se dotati di poco splendore.

Keplero, Schneider, Plumbins, Poterfield, Zinn, e molti altri hanno ammesso che il cristallino può essere spostato, in modo da avvicinarsi od allontanarsi dalla retina secondo la distanza degli oggetti. — Ma questo non può avvenire senza flusso e riflusso negli umori dell'occhio, e per conseguenza senza cangiamento di curvatura nella cornea. Epperò, avendo già negato siffatte modificazioni nella cornea, possiamo rifiutare anche questa ipotesi senza pericolo d'errare.

Boehrave, Rohaut, Olbers, Home, Englefield e Ramsden, pensavano che il globo dell'occhio s'allungasse per vedere gli oggetti vicini, e s'accorciasse per scorgere i lontani, avvicinandosi così od allontanandosi dalla retina; ed i primi tre attribuivano l'allungamento ai muscoli obliqui, e l'accorciamento ai retti; mentre gli altri attribuivano l'allungamento ai muscoli retti, e l'accorciamento agli obliqui. — Ma 1.° anche questi cangiamenti di lunghezza dell'occhio non possono verificarsi senza una

modificazione nella curvatura della cornea. 2.° Il fatto si oppone direttamente a questa ipotesi, giacchè Graefe narra di un uomo, da lui conosciuto, che aveva i muscoli paralizzati, e nondimeno distingueva benissimo gli oggetti posti a differenti distanze.

Descartes, Sauvage, Bourdelot, Home, Pemberton, Albinus, Hunter, Young, Arago, Duges, ecc. suppongono il cristallino dotato di una particolare contrattilità, in virtù della quale possa assumere un forma più o meno convessa, e così ottenere la coincidenza dell'imagine colla retina, qualunque sia la distanza degli oggetti. Questa ipotesi ci sembra la più verosimile.

Infatti 1.° la struttura e la composizione chimica del cristallino provano che esso è capace di contrarsi.

2.° Gli individui affetti di cataratta, ai quali siasi levato il cristallino, supplendovi con una lente convergente posta davanti all'occhio, non possono vedere chiaramente che ad una distanza determinata, la quale dipende dal fuoco della lente loro applicata.

3.° Le persone che, come i dotti, gli scrittori, gli orefici, osservano abitualmente cose minute, quali sono i caratteri di un libro e le parti di un orologio, perdono, per la maggior parte, la facoltà di adattar l'occhio a grandi distanze; e si è trovato che il loro cristallino acquista una convessità permanente maggiore dell'ordinaria.

4.° Se si avvicina la fiammella di una candela all'occhio di una persona che da una camera oscura guarda un oggetto lontano, nell'occhio stesso si veggono tre imagini. L'*anteriore*, dovuta alla riflessione dei raggi luminosi sulla cornea, è diritta e virtuale; la *posteriore*, formata dai raggi che si riflettono alla prima superficie del cristallino, è essa pure virtuale e diritta; e la *media*, che dipende dalla riflessione della luce sulla seconda superficie del cristallino, la quale non è convessa come le altre due superficie, ma concava, è più piccola, rovesciata e reale. Quando la persona medesima volge lo sguardo ad un oggetto vicino, l'imagine posteriore aumenta di vivacità, diminuisce di grandezza e s'avanza istantaneamente verso la prima, la quale non cangia posizione; mentre l'imagine media, mantenendosi immobile, diviene più viva ed impiccolisce. Questo prova che la cornea non cangia nè posto, nè curvatura, e che le due facce del cristallino divengono più convesse.

Siamo dunque in grado di conchiudere che l'occhio ha la mirabile prerogativa di adattarsi alle differenti distanze degli oggetti, per mezzo di un cangiamento di forma del cristallino.

503. **Limiti della visione distinta**. Non dobbiamo però credere che ciò si possa compiere con eguale facilità per qua-

lunque distanza, e col medesimo risultato in qualsiasi circostanza. Nonostante il sin qui detto, è certo che la visione distinta è limitata; giacchè per mezzo del microscopio possiamo distinguere i più minuti dettagli, e con tanto più di chiarezza quanto maggiore è la potenza dello strumento. Per vedere distintamente e senza fatica un oggetto fa d'uopo collocarlo press'a poco ad una distanza determinata dall'occhio, la quale è proporzionale al diametro apparente ed allo splendore dell'oggetto medesimo. Quando questo è piccolo, come per esempio, il carattere ordinario della stampa, *la distanza della visione distinta* varia nei diversi individui fra i 25 ed i 30 centimetri, se l'occhio è perfetto. Però, aumentando le dimensioni dell'oggetto, cresce del pari la distanza della visione distinta; e così si possono leggere le lettere cubitali di un avviso anche situato a notevole lontananza. Pertanto, finchè il diametro apparente dell'oggetto e l'intensità della luce hanno un valore costante, la visione, secondo le condizioni ordinarie dell'occhio, è sempre egualmente distinta per tutte le variazioni nella distanza dell'oggetto da 10 o 15 centimetri all'infinito. Lo spazio angolare entro cui sono compresi gli oggetti che possono essere simultaneamente veduti dall'occhio, ossia il *campo della visione*, è vastissimo per la visione confusa, cioè di circa 120° nella direzione verticale e 150° nell'orizzontale; ma è molto limitato, cioè appena di 3° o 4° per la visione distinta. Che se possiamo vedere chiaramente tutte le parti di un corpo anche molto esteso è perchè l'occhio può spostarsi con grande facilità e dirigersi rapidamente ai differenti punti della superficie del corpo, in modo che la percezione di essi riesce pressochè simultanea.

504. **Difetti della vista.** Abbiam detto che l'occhio umano può vedere distintamente gli oggetti posti a qualunque distanza al di là di 10 o 15 centimetri. Ma questo non si verifica che per gli organi perfetti. L'occhio può essere difettoso per mancanza o per eccesso di poter rifrangente, in modo che l'imagine tenda a formarsi davanti o dietro la retina, e non coincida con essa. Il primo difetto dicesi *presbitismo*, ed il secondo chiamasi *miopia*. Gli individui affetti di presbitismo diconsi *presbiti*, e *miopi* quelli offesi da miopia. La maggior parte dei presbiti può vedere chiaramente a tutte le distanze maggiori del limite indicato, quando il loro organo non abbia altri difetti, quali sarebbero l'indebolimento di sensibilità della retina, la mancanza di perfetta trasparenza nella cornea o negli umori dell'occhio. Il presbitismo si riscontra facilmente nei vecchi; ed è dovuto 1.° alla diminuzione di spessore del cristallino, che, come ogni altro muscolo, perde di attività nella vecchiaja; 2.° alla man-

canza di contrattilità del cristallino stesso, in modo che non possa adattarsi alle piccole distanze, per le quali l'occhio deve modificarsi più che per le altre; e 3.° in qualche caso, anche all'appianamento del fondo dell'occhio, sicchè la retina siasi avvicinata al cristallino.

La miopia presenta numerose varietà. Nei miopi qualche volta la vision distinta non ha luogo che ad una sola distanza; ed altre volte si verifica fra certi limiti più o meno ristretti, oltre i quali è confusa. Questo difetto 1.° può avere per causa una conformazione viziosa dell'occhio, cioè una soverchia convessità del cristallino o della cornea, oppure una sproporzionata grandezza dell'occhio, sicchè la retina sia troppo lontana dal cristallino; 2.° può dipendere anche dall'abitudine di guardare piccoli oggetti, e specialmente dall'uso frequente del microscopio, dall'abuso della lettura, ecc. Frequenti sono i casi di miopia fra gli studenti giovani: rarissimi fra i contadini, specialmente che abitano paesi a vasto orizzonte.

505. **Occhiali**. Per supplire alle due accennate imperfezioni della vista si adoperano lenti a lungo fuoco, chiamate col nome generico di *occhiali*.

Gli occhiali pei presbiti sono formati da lenti convesse, le quali danno ai raggi irradiati dagli oggetti vicini il medesimo grado di divergenza che avrebbero qualora fossero partiti da punti situati a più grande distanza. Per mezzo della formola $\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$, che esprime la relazione fra la curvatura della lente e le distanze dell'oggetto e dell'imagine, si calcola la distanza focale f, che la lente deve avere onde si possa leggere ad una distanza p, eguale all'ordinaria distanza della visione distinta, quando si conosca la distanza p' della visione distinta della persona affetta da presbitismo. Infatti da quella formola si ha: $\frac{p'}{pp'} - \frac{p}{pp'} = \frac{1}{f}$, ossia $\frac{p' - p}{pp'} = \frac{1}{f}$, cioè $f\,(p' - p) = pp'$; e quindi: $f = \frac{pp'}{p' - p}$.

Se fosse proposto di calcolare la distanza focale della lente opportuna ad un presbite, pel quale la distanza della visione distinta sia di 60 centimetri, basterebbe porre $p = 25$, $p' = 60$; e così avremmo $f = \frac{25 \times 60}{60 - 20}$ $f = \frac{1500}{40} = \frac{150}{4} = 37{,}5$.

I miopi invece adoperano lenti concave. Usando della formola $\frac{1}{p}-\frac{1}{p'}=-\frac{1}{f}$ delle lenti divergenti, possiamo fare lo stesso calcolo. Infatti essendo $\frac{p'-p}{pp'}=-\frac{1}{f}$, ossia $-f(p'-p)=pp'$, o meglio $f(p-p')=pp'$, avremo $f=\frac{pp'}{p-p'}$.

In qualche caso il miope provveduto di occhiali può vedere gli oggetti a tutte le distanze, come coloro che hanno buona vista; e ciò avviene quando l'occhio di lui abbia conservata la sua contrattilità. Ma qualche volta sono solamente aumentati i due limiti della visione distinta, oppure essa è portata ad una distanza determinata, maggiore di quella a cui può vedere chiaramente senza occhiali: e ciò avviene quando l'occhio ha perduta ogni contrattilità.

Vetri periscopici. Cogli occhiali, che risultano da lenti biconvesse pei presbiti e da lenti biconcave pei miopi, si vede bene solamente nella direzione dell'asse delle lenti; ma quando si guarda obliquamente, i raggi soffrono una grande aberrazione di sfericità, e l'imagine focale virtuale è torbida. Epperò Wollaston ha pensato d'impedire questo inconveniente coll'adoperare lenti convesso-concave, o menischi convergenti, pei presbiti, e lenti concavo-convesse, o menischi divergenti, pei miopi, disponendo la faccia concava dalla parte dell'occhio, di modo che i fasci dei raggi obliqui all'asse principale cadono presso a poco normalmente sulla superficie convessa. Simili occhiali furono detti da Wollaston *vetri periscopici*.

506. **Ottometro.** Per misurare precisamente i limiti della visione distinta nei diversi individui si adoperano apparati particolari detti perciò *ottometri*. Descriveremo l'ottometro semplice e l'ottometro di Young.

L'ottometro semplice consiste in un regolo orizzontale, lungo circa un metro, nella cui superficie è tracciata longitudinalmente una riga sottile, nera in fondo bianco, o bianca in fondo nero. Ad una estremità di questo regolo è fisso un diaframma, nel quale sono praticate due strettissime fessure verticali, che distano fra loro di una quantità minore del diametro della pupilla, ossia di tre millimetri. Quando un individuo vuol misurare con tale strumento la distanza della sua visione distinta, guarda la riga nera attraverso alle due fessurine. I raggi che partono dai punti della riga vicini al diaframma tendono a formare il loro fuoco dietro la retina; epperò i due fascetti luminosi, che partendo da

questi punti passano per le due fessure, incontrano la retina in punti differenti, e producono una doppia imagine della riga. La distanza delle due imagini diminuisce a misura che il punto a cui si fissa lo sguardo si allontana dal diaframma, e dopo un certo tratto, che è il limite minimo della visione distinta, le due imagini si confondono. Per qualche individuo la riga si raddoppia di nuovo ad una determinata distanza, che rappresenta il limite massimo della vision distinta; ed allora lo spazio compreso fra questi due limiti misura il campo della visione distinta. Tale spazio si riduce ad un punto per quei miopi nei quali l'occhio ha perduto ogni contrattilità. Alle persone dotate di buona vista ed alla maggior parte dei presbiti, la riga non si raddoppia una seconda volta, ma è unica a qualunque distanza partendo dal limite minimo.

L'ottometro di Young è un tubo composto di due parti, l'una delle quali può scorrere nell'altra. Le estremità di questo tubo sono chiuse da un disco opaco. Nell'uno dei due dischi sono praticate due fessure, e nell'altro una sola, chiusa da un vetro smerigliato. Quando dalle due fessure si guarda nel tubo, mentre si volge l'altra fessura verso la luce, e si fa scorrere la parte mobile dello strumento nella fissa, allungandolo od accorciandolo, la fessura, da cui la luce penetra nel tubo, appare unica finchè la distanza dei due dischi è compresa nel campo della visione distinta; ma appena questa distanza raggiunge uno dei limiti della visione medesima, appajono due righe brillanti. Il limite raggiunto sarà il *massimo*, se vi si pervenne allungando il tubo, e sarà il *minimo* se lo si ottenne accorciando il tubo stesso.

507. **Sensibilità della retina — punto cieco**. Onde si verifichi la seconda condizione (501) necessaria alla visione distinta, fa d'uopo innanzi tutto che la parte della retina in cui si forma l'imagine sia sensibile all'impressione della luce. La retina ha una sensibilità tutta speciale per la luce: sebbene certe azioni meccaniche le possano comunicare uno scuotimento analogo a quello dei raggi luminosi, pure, generalmente parlando, essa non è sensibile che all'azione della luce. Però molte cause possono diminuire od annullare la sensibilità della retina; ed allora diminuisce la chiarezza della visione, o cessa totalmente il fenomeno. Inoltre le diverse parti della retina non sono egualmente sensibili alla luce. L'imagine non è ben distinta che in un piccolo spazio attorno all'asse dell'occhio. Questo spazio si chiama il *punto sensibile,* sebbene non sia quello che gode della maggior sensibilità. Nella superficie della retina havvi anche uno spazietto poco o nulla sensibile all'azione della luce. Desso

non è che l'estremità del nervo ottico, ossia il luogo ove il nervo ottico penetra nell'occhio, e si chiama *punto cieco*. Si constata l'esistenza e la posizione di questo punto colla esperienza seguente dovuta a Mariotte. Nel fondo nero di un diaframma si fissano due piccoli dischi bianchi, i centri dei quali distino fra loro di circa un decimetro; in seguito si guarda dall'alto alla distanza di 25 o 30 centimetri, e in una posizione tale che l'occhio destro sia verticalmente al dissopra del disco collocato alla sinistra, e la linea dei due occhi sia parallela alla linea dei dischi. Quando si verifichino queste due condizioni, e coll'occhio destro si guardi il disco sinistro, allontanandolo od avvicinandolo più o meno e sempre nella medesima verticale, si trova una posizione ove il disco destro è completamente invisibile: più vicino o più lontano ricompare istantaneamente, e non cessa mai di essere visibile se la linea dei due occhi è solamente un po' obliqua in ordine a quella dei dischi.

Mariotte dall'esistenza del punto cieco desume un argomento per provare che la parte dell'occhio sensibile all'impressione della luce non è la retina, ma la coroide; perchè, dice, se a questa azione è insensibile il nervo ottico, anche la retina, che ne è una ramificazione, sarà nella medesima condizione. Per comprendere la fallacia dell'argomentazione di Mariotte, basta osservare che i nervi servono alla sensazione quando sono divisi e ridotti in filamenti sottili, e tanto meglio quanto più minute sono le loro ramificazioni.

Intensità della luce. Ma perchè l'impressione della luce sia sensibile e determinata, non basta che la retina abbia la capacità di oscillare sotto l'impulso dei raggi luminosi. Siccome, per quanto si voglia supporre perfetta questa attitudine, bisogna pure ammettere che è limitata, così sarà necessario anche che la luce abbia da parte sua una energia proporzionale alla sensibilità della retina. I limiti di questa energia non sono bene conosciuti. È però certo ch' essi variano secondo gli individui, ed in un medesimo individuo da uno stato ad un altro della retina. Questa delicatissima membrana gode di una eminente sensibilità quando abbia riposato per lungo tempo, ed al contrario l'azione continua della luce, specialmente se viva, la rende meno sensibile. Ma se una luce debole non agisce sulla retina, una luce troppo viva abbaglia e confonde. L'intensità della luce deve dunque essere in ogni caso proporzionale alla sensibilità dell' occhio.

508. **Durata dell'impressione.** L'impressione prodotta dalla luce sulla retina dura qualche istante anche dopo che la

causa ha cessato d'agire. Se si fa rotare con rapidità un carbone acceso, si vede un circolo luminoso; dunque l'impressione, prodotta dalla luce del carbone in un punto della retina, persiste per tutto il tempo che impiega il carbone a compiere una circonferenza intera. L'aspetto continuo di una rota che gira rapidamente, la mescolanza dei colori nel disco di Newton, il rigonfiamento che presenta una corda vibrante, ecc. sono fenomeni dovuti alla stessa causa. Alcuni fisici si sono interessati di misurare la durata dell'impressione fatta sulla retina, ed i risultati principali delle loro esperienze sono i seguenti: 1.° La *durata media* dell'impressione è di circa 0,14 di secondo; 2.° la durata dell'*impressione massima* è tanto più lunga quanto più debole fu l'impressione stessa; così questo tempo è minore di 0,008 di secondo se l' oggetto luminoso è una carta bianca esposta alla luce del giorno; è maggiore per una carta meno bianca; ed aumenta successivamente se al posto della carta bianca se ne mette una gialla, rossa, turchina; 3.° la *durata totale* dell'impressione aumenta collo splendore della luce, e diminuisce coll'aumentare del tempo dell'azione, perchè la retina perde di sensibilità quanto più affatica.

Da ciò consegue che, onde l'impressione fatta sulla retina sia determinata, fa d'uopo che la luce agisca in una direzione costante per un certo tempo; giacchè se essa cambia continuamente direzione, non potendo l' asse dell' occhio spostarsi con eguale rapidità, l'imagine si sposta sulla retina, o, meglio, si forma una serie d'imagini, che, persistendo, si soprappongono in parte e producono una striscia confusa parallela alla linea secondo la quale si muta la direzione della luce medesima. Se poi il corpo che passa davanti all'occhio invece di essere brillante è poco illuminato, come una palla che esce dal fucile o dal cannone, allora è nemmanco visto, perchè l'impressione della luce dell'atmosfera è più energica e persiste durante il tempo brevissimo in cui l'imagine del corpo in moto si projetta sopra di un punto determinato della retina.

Recentemente (*Comp. Rend.* 16 luglio 1866) l'abate Laborde con una ingegnosa esperienza ha dimostrato una particolarità molto singolare circa la durata delle impressioni fatte nell' occhio, ed è che i colori più rifrangibili, anche quando sono uniti a formare la luce bianca, sono più persistenti e sentiti prima degli altri; in maniera che si potrebbe dire che l' organo della vista decompone la luce bianca, disperdendone i colori in tempi differenti, come un prisma li disperde su diversi punti.

Per quanto tempo poi la luce debba mantenere costante la

sua direzione, onde produrre un'impressione determinata, i fisici non lo sanno dire, variando esso colla intensità della luce, cogli individui, ecc.

509. **Applicazioni del principio precedente.** La persistenza delle impressioni della luce sulla retina ha suggerito la costruzione di alcuni curiosi apparati, dei quali vogliamo qui esporre la descrizione.

Anortoscopio. Uno di essi, inventato da Faraday, consiste in due rote identiche, ciascuna delle quali può moversi indipendentemente dall'altra attorno all'asse comune fisso. Quando si movono le due rote in senso inverso e colla stessa velocità, si percepisce una sola rota fissa avente un numero doppio di raggi. Ma quando le velocità non sono eguali, si vede una rota che gira lentamente nell'uno o nell'altro senso. Questo apparato chiamasi *anortoscopio*, voce che deriva dal greco, e significa appunto strumento che mostra un oggetto in movimento determinato.

Cromatropo. Sullo stesso principio è costrutto il *cromatropo*, o strumento che mostra un *colore rotante*. Le parti di esso sono alcuni dischi di vetro mobili attorno ad un asse fisso, nei quali sono tracciati varj raggi curvi, a diversi colori. Quando si movono questi cerchi, gli uni in un senso e gli altri nel senso opposto, per la varia soprapposizione dei raggi appare un sistema in moto di linee colorate che muta d' aspetto ad ogni istante. Siccome poi i punti d'intersezione delle linee curve tracciate sui dischi cangiano distanza dal centro, così il movimento dell'apparenza avviene nel medesimo tempo attorno al centro e lungo i raggi. Illuminando questi dischi con un fascio divergente, le imagini varianti si projettano con bellissimo effetto sopra un diaframma collocato a poca distanza.

Taumatropo. Un altro apparato analogo è il *taumatropo*, o *disegno dimezzato rotante*. Desso è un disco capace di ricevere un rapido movimento di rotazione attorno ad uno de' suoi diametri. In una mezza superficie di questo disco è dipinta la metà di un disegno regolare, la cui parte residua si trova nella metà corrispondente dell'altra superficie. Durante il movimento le due parti sembrano riunite ed il disegno appare completo.

Se si adoperano due dischi perpendicolari fra loro, e rotanti attorno al diametro comune, si può dividere il disegno in quattro parti, e porne una sopra ciascuna faccia del sistema rotante. Anche in questo caso si ottiene la loro riunione in maniera esatta.

Fanetisascopio. Il *fanetisascopio*, o strumento per mezzo del quale *si guarda un' apparenza*, cioè una figura dipinta che pare animata, è formato da due dischi di cartone pressochè eguali,

e posti sul medesimo asse, attorno a cui si possono muovere. Lungo la circonferenza d' uno di questi dischi sono praticate alcune aperture a distanze eguali, e sulla circonferenza dell' altro è ripetuta più volte una stessa figura in atteggiamenti successivamente diversi. Quando si mette in movimento l'apparato, un osservatore che posto al lato del secondo disco, guardi, traverso alle aperture del primo le imagini delle figure riflesse da uno specchio piano, scorge una figura sola che gli sembra animata, perchè passa successivamente per diverse posizioni. Sul secondo disco, invece di disegni completi e leggermente varianti, si possono anche disporre le diverse parti di una medesima figura, o varie figure bizzarre, e, dando alle parti mobili del sistema diverse velocità determinate, ottenere l'apparenza di un disegno unico e completo, o regolare.

Caleidofono. Il quinto apparato, i cui effetti dipendono ancora dalla persistenza delle imagini sulla retina, è il *caleidofono*, o strumento che mostra una *bella imagine sonora*. Desso è costrutto da una laminetta d'acciajo che, fissa ad un'estremità, porta all'altra una piccola sfera metallica, o di vetro internamente coperta da stagno. Quando si mette in vibrazione la lamina d'acciajo davanti al sole od alla fiamma di una candela, l'imagine brillante della palla descrive bellissime curve, più o meno complicate secondo le dimensioni dello strumento e l'energia dell'impulso comunicatogli, mentre la lamina vibrante produce un suono.

510. **Percezione della posizione degli oggetti.** Dall'impressione sulla nostra retina fatta dai raggi luminosi conosciamo l'oggetto da cui sono irradiati i raggi medesimi. Ma siccome nel nostro occhio le cose avvengono come in una camera oscura, e l'imagine degli oggetti esterni si dipinge rovesciata sulla retina, si fa la questione: come si veggano tuttavia gli oggetti diritti. A tre si possono ridurre le opinioni dei fisici circa questo tema. Locke e Condillac attribuiscono il giudizio della posizione diritta degli oggetti all'abitudine, o, come si dice, all'educazione dell'occhio, di paragonare l'impressione prodotta sulla retina colla conoscenza, acquistata per mezzo del tatto, della posizione reale degli oggetti. Invece Müller e Volkmann dicono che, vedendo noi tutti gli oggetti rovesciati, nessuno di essi ci può sembrare tale, poichè non rimane più verun termine di confronto. Finalmente Descartes, Keplero, Musschenbroeck, d'Alembert e Brewster opinano che noi ci accorgiamo anche della direzione nella quale ci arrivano i raggi luminosi, di modo che riportiamo l'origine loro a punti che si trovano negli assi secondarj che loro corrispondono, ossia nella direzione normale alla superficie

pressochè sferica della retina; riportiamo ad un punto situato al basso nell'oggetto la causa dell'impressione ricevuta in un punto collocato all'alto nella retina, e viceversa.

Quest'ultima teoria spiega il fenomeno nel modo il più semplice e completo. Infatti l'anima non *guarda* le imagini che si formano sulla retina, quasi che fosse posta dietro a questa, come una persona collocata dietro alla tavola della camera nera, ma le *sente*, e dalla sensazione assurge alla causa che l'ha prodotta; per conseguenza in un atto solo conosce l'esistenza e la situazione degli oggetti esterni. Quando siamo colpiti da un projettile, anche senza vederlo, percepiamo la direzione secondo la quale ci è pervenuto. Se tenendo in mano, ad occhi chiusi, due bastoni incrocicchiati, incontriamo un ostacolo sulla direzione del bastone che abbiamo nella destra, ci accorgiamo, senza riflettervi, che l'ostacolo è alla sinistra, e viceversa.

Le prime due opinioni invece non danno ragione di molti fenomeni, e contraddicono anche a parecchi fatti. Il cieco guarito dall'inglese Cheselden vidde gli oggetti diritti appena cominciò a distinguere la loro forma, e quindi senza che prima abituasse od educasse il suo occhio a confrontare l'impressione prodotta nella retina colla conoscenza acquistata pel tatto circa la posizione reale degli oggetti. Ai propugnatori della teoria di Müller Volkmann poi basti ricordare, che sebbene il termine di confronto per distinguere la posizione diritta dalla rovesciata ci manchi da parte della vista, ci è però somministrato dal tatto: il sentimento dell'alto e del basso l'abbiamo per lo meno dal sentimento del nostro corpo; dalla posizione del nostro corpo possiamo giudicare quella di tutti gli altri uomini.

511. **Visione bioculare semplice.** Un'altra questione affine alla precedente è quella sulla visione bioculare semplice, cioè: come, avendo noi due occhi, in ciascuno dei quali si forma l'imagine degli oggetti, questi nei casi ordinarj non ci appajono duplicati? Per spiegare questo fatto alcuni pensano che in un medesimo istante si percepisce solo l'una o l'altra delle due imagini; oppure che la sensibilità di un occhio è maggiore di quella dell'altro, in modo che l'una delle due sensazioni fa scomparire l'altra. Ma altri credono che le due imagini, venendo da noi riferite ad una stessa posizione dello spazio, si soprappongono per così dire, e ci danno la percezione di un oggetto unico. Infatti: 1.° Se con un dito si preme il bulbo di un occhio in modo da deviarne l'asse, l'imagine dell'oggetto guardato si raddoppia; dunque le due imagini esistono, ma non si rendono manifeste, ossia non si separano che quando cessano di formarsi in punti

identici od omologhi. 2.° Se dinanzi ad un occhio si colloca un vetro colorato, ed avanti all'altro se ne mette un secondo di colore diverso, mirando un oggetto bianco, lo vediamo colorito della mescolanza dei due colori che presenterebbe qualora fosse guardato successivamente coi due vetri. 3.° Se per mezzo di tubi isolanti, che diano agli assi ottici direzioni concorrenti, si osservano due oggetti identici, di piccole dimensioni e di tinte complementari, non si vede che un oggetto unico e bianco, situato al punto d'incontro dei due assi, più (fig. 473) o meno (fig. 474) lontano degli oggetti medesimi.

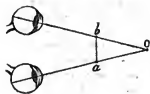
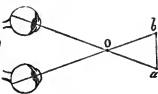



Fig. 473. Fig. 474.

Quale poi sia la causa della soprapposizione delle due imagini, i fisici non lo sanno decidere con sicurezza. Alcuni l'attribuiscono all'abitudine che acquistiamo di sentire certi punti delle due retine impressionati egualmente, quando essi ricevono la luce irradiata dal medesimo centro. Questi punti, chiamati *identici*, sono i luoghi d'intersezione delle retine cogli assi dei due occhi, che convergono verso il centro luminoso. Taylor e Wollaston sono d'opinione che due punti omologhi di destra o di sinistra sulle due retine corrispondono ad un medesimo filamento nervoso cerebrale destro o sinistro, biforcato all'incrociamento dei due nervi ottici. Non c'impegniamo a sostenere l'una piuttosto che l'altra opinione; notiamo che l'abitudine ha certamente influenza in questo fatto; ma pare che la ragione principale possa essere appunto il semi-incrocicchiamento dei nervi ottici. Per lungo tempo si è creduto che questi nervi si incrocicchiassero completamente, sicchè quello che parte dall'emisfero cerebrale destro del cervello formasse il nervo ottico dell'occhio sinistro, e reciprocamente quello che parte dall'emisfero cerebrale sinistro costituisse il nervo ottico dell'occhio destro; ma Wollaston ha scoperto che nell'uomo i nervi ottici non presentano che un semi-incrocicchiamento. Ciascuno d'essi si biforca: una parte forma la metà di una retina, e l'altra costituisce la metà omologa dalla seconda retina; la retina destra è formata per metà dal nervo che proviene dall'emisfero cerebrale destro e per metà dal nervo che parte dall'emisfero cerebrale sinistro.

Pertanto da due imagini si percepisce un oggetto solo perchè l'impressione delle imagini di un punto esteriore si fa su fibre che hanno la medesima origine nel cervello.

Emiopsía. L'emiopsia, osservata da Arago ed altri fisici, consiste nel percepire una sola metà degli oggetti, tanto nella visione bioculare come nella monoculare. Dessa si manifesta frequentemente nelle emicranie. In questi casi il nervo che proviene dalla parte ammalata è insensibile all'azione della luce. Se il dolore è alla sinistra, divengono insensibili le parti sinistre delle due retine, e quindi non si distinguono le parti destre degli oggetti; e reciprocamente non si veggono i lati sinistri dei corpi, quando il male affetta la parte destra del capo.

Diplopía. Qualche volta avviene anche che gli oggetti appajano duplicati. A questo fenomeno, od alla conformazione viziosa dell'occhio che lo produce, si dà il nome di *diplopía.* Le due imagini generalmente si soprappongono per la maggior parte, ed una di esse è molto più appariscente dell'altra. La diplopia può dipendere dall'ineguaglianza dei due occhi, ma si manifesta anche in un occhio solo. In quest'ultimo caso la causa del fenomeno è senza dubbio un difetto di conformazione del cristallino o di qualche altra parte dell'occhio, che, agendo a modo di un cristallo birifrangente, bipartisce il fascio luminoso, e forma sulla retina due imagini invece di una sola. Può anche accadere che un occhio sia affetto di *triplopia;* ma allora la terza imagine è piccolissima.

512. **Rapporti tra la visione ed i giudizi sulla distanza degli oggetti.** Per mezzo dell'occhio conosciamo anche la distanza, la forma, la grandezza, ed il rilievo delle cose che ci circondano; ma a ciò vi si perviene col favore di altre circostanze, giacchè l'occhio, meraviglioso strumento com'è, pure da solo ci darebbe notizie molte imperfette di queste particolarità. La valutazione della distanza degli oggetti, fatta per mezzo della vista, dipende da molte condizioni, ed è sempre il risultato dell'abitudine. Al bambino che comincia a distinguere le impressioni della luce, sembra che tutti gli oggetti tocchino i suoi occhi; epperò lo si vede stendere la sua piccola mano per afferrare gli oggetti lontani, e portarla al di là degli oggetti che gli stanno vicinissimi. Anche del cieco di Cheselden si narra che quando cominciò a vedere, credette che gli oggetti circostanti toccassero la superficie de' suoi occhi, e solo colla abitudine acquistò la facoltà di conoscere la distanza dei corpi. Gli elementi di questa cognizione variano a seconda che le distanze medesime sono piccole o grandi.

Valutazione delle piccole distanze degli oggetti. Per mezzo della vista possiamo apprezzare le piccole distanze: 1.° confrontando lo sforzo che l'occhio ha fatto per adattarsi ad una distanza nota con quello che fa adattandosi alla nuova distanza, ossia confrontando il grado di divergenza dei fasci luminosi che nei due casi entrano nella pupilla. Infatti il cono luminoso che arriva all'occhio è tanto più divergente quanto più vicino è il punto da cui proviene. L'occhio si aggiusta alla distanza di questo punto; ed il sentimento che abbiamo della modificazione del nostro organo in un tale fenomeno, è il criterio con cui giudichiamo della distanza di quel punto medesimo.

2.° In secondo luogo, conosciamo la distanza di un oggetto confrontando il grado di convergenza, che per vederlo chiaramente fa d'uopo dare agli assi ottici principali dei due occhi, coll'inclinazione dei medesimi nel caso di una distanza nota. Tale inclinazione (fig. 475) dei due assi ottici principali diretti verso

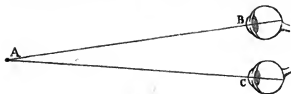



Fig. 475.

un medesimo punto, si chiama *angolo ottico.* L'angolo ottico aumenta se l'oggetto si avvicina, e diminuisce quando l'oggetto si allontana; e propriamente gli angoli ottici, sotto i quali guardiamo due corpi collocati a differenti distanze, stanno fra loro come le radici cubiche delle medesime distanze. Il concorso dei due occhi ha pertanto una parte principale nell' esatto giudizio sulla distanza degli oggetti; e quando non ci serve che un occhio solo c'inganniamo facilmente anche sulle piccole distanze. Tuttavia i monocoli arrivano ad acquistare l'abitudine di questa valutazione solo col sentimento della divergenza dei fascetti luminosi che penetrano nella pupilla; ma il loro giudizio, a questo proposito, è sempre inferiore a quello di coloro che veggono con due occhi.

Valutazione delle grandi distanze degli oggetti. Se trattasi di conoscere grandi distanze, i due mezzi accennati ci mancano affatto; poichè gli assi ottici principali non cangiano più sensibilmente di posizione relativa, e l'occhio non ha più bisogno di adattarsi alla distanza. In tal caso il giudizio che si fa è molto incerto, e lo si deduce dalle seguenti circostanze.

1.° Dalla chiarezza degli oggetti. Un corpo veduto attraverso un vetro turchino, che ne diminuisce lo splendore, ci pare più lontano che visto ad occhio nudo. Di due luci, vedute durante la notte, la più lontana ci sembra la più vicina, se, malgrado la distanza, essa appare più brillante. Un abitante del piano, quando si porta sulle montagne, attribuisce agli oggetti circostanti distanze minori di quelle a cui si trovano realmente. Le montagne che coronano la nostra pianura ci sembrano ravvicinate quando l'aria è pura. Anche dalla nitidezza, con cui si distinguono le diverse parti di un oggetto, si può dedurre la distanza a cui esso si trova. I marinari conoscono press'a poco la distanza di una nave dalla chiarezza con cui distinguono le persone situate sulla medesima. Per lo stesso principio i pittori hanno cura di dar meno di chiarezza a quelle parti del disegno che vogliono presentare a maggiori distanze.

2.° Dal numero e dall'estensione degli oggetti interposti fra noi e il punto di cui vogliamo apprezzare la distanza. Questi oggetti sono quasi punti di divisione che rendono più facile il giudizio circa la distanza medesima, e nel tempo stesso la fanno apparire più grande o più piccola, secondo che sono più o meno numerosi. Un campanile veduto lungo la superficie di un tetto, che copre tutti gli oggetti intermedj, sembra elevarsi al limite di questo piano medesimo, quantunque ne sia lontano.

3.° Dalla grandezza apparente degli oggetti; giacchè la loro imagine sulla retina è tanto più piccola quanto più essi sono lontani. Quando nell'oscurità s'ingrandisce successivamente l'imagine di un oggetto molto rischiarato, crediamo che questa imagine si avvicini a noi colla rapidità colla quale ne aumenta la grandezza apparente.

513. **Rapporti fra la visione ed i giudizi sulla grandezza.** Allorchè più oggetti sono alla medesima distanza dall'occhio, giudichiamo della loro grandezza relativa confrontando le dimensioni delle imagini fatte sulla retina, giacchè queste dimensioni stanno fra loro come i diametri apparenti degli oggetti. Ma quando le distanze che ci separano da questi corpi differiscono tra loro, il giudizio che facciamo circa le grandezze relative dei corpi stessi, dipende e dalle dimensioni dell'imagine fatta sulla retina e dall'idea che ci formiamo della distanza di questi oggetti.

Grandezza della imagine. La grandezza dell'imagine fatta sulla retina dipende dal valore dell'angolo visuale. Per una medesima distanza, l'angolo visuale (418) è in ragion diretta della dimensione corrispondente nell'oggetto, e per un medesimo oggetto è

in ragione inversa della distanza. Quindi la grandezza apparente e l'imagine, fatta sulla retina, di una delle dimensioni di un oggetto variano in ragione inversa della distanza di esso dall'occhio; mentre la grandezza apparente della superficie del medesimo oggetto e la grandezza dell'imagine, che gli corrisponde sulla retina, variano in ragione inversa del quadrato di quella distanza stessa. Questo principio geometrico in pratica presenta però qualche eccezione; e ciò: 1.° per l'adattamento dell'occhio alle distanze, sicchè variando il cristallino di forza convergente col variare della distanza, si modifica più o meno la grandezza della imagine, la quale pertanto non segue più rigorosamente quella legge; e 2.° per la grandezza della pupilla.

Influenza della distanza. Quando le imagini formate sulla retina hanno grandezze eguali, giudichiamo gli oggetti tanto più grandi quanto più li supponiamo lontani, perchè dall'esperienza abbiamo appreso che l'allontanamento di un oggetto è accompagnato da una diminuzione nelle dimensioni dell'imagine. Così un'uomo non ci sembra più grande a tre metri che a venti, sebbene l'imagine fatta sulla retina in quest'ultimo caso sia molto più piccola. Il cieco di Cheselden da principio non aveva alcuna idea della relazione fra le grandezze e le distanze. Da ciò consegue che quanto ci può ingannare sulle distanze, ci inganna egualmente sulle grandezze. La luna, il sole, le costellazioni presso l'orizzonte ci sembrano più grandi che allo zenit, sebbene il loro diametro angolare sia minore; perchè ivi essi diminuiscono di splendore, e fra noi e gli astri sono interposti gli oggetti terrestri che concorrono pure a farci apparire maggiore la distanza degli astri medesimi.

Nel caso in cui gli oggetti siano molto estesi, in modo che l'occhio nell'osservarne le differenti parti si sposti assai, il giudizio sulla loro grandezza dipende dai dettagli più o meno numerosi che essi presentano, e che servono ad apprezzare lo spostamento dell'occhio. Gli edificj gotici sembrano assai grandi per effetto del numero dei minuti lavori di cui sono ornati. Invece un monumento d'architettura greca non produce un effetto corrispondente alla massa. Per esempio, tutti coloro che hanno visitata la città di Roma, osservarono che la magnifica chiesa di s. Pietro, vista dal mezzo della piazza, sembra avere proporzioni ordinarie, e solo in vicinanza mostra le sue dimensioni colossali.

514. **Percezione del rilievo dei corpi**. L'imagine formata sulla retina non ha che due dimensioni, e tuttavia percepiamo il rilievo dei corpi, dopo d'aver fatto un gran numero di confronti fra le indicazioni del tatto e le condizioni

della imagine formata sulla retina. Il rilievo dei corpi ci si manifesta:

1.° Dalle differenze di distanza dell' occhio dai diversi punti dell'oggetto. Questo elemento però non vale che per gli oggetti vicini.

2.° Dalla deformazione speciale delle linee del corpo nell'imagine. Le differenti linee dell'oggetto, alle quali corrisponde un'imagine piana nella retina, sono deformate secondo certe leggi, e s' incontrano sotto angoli diversi da quelli ch' esse formano realmente. Noi ci avvezziamo a poco a poco a riportare una siffatta imagine alla forma del corpo, a cui corrisponde. Nelle arti grafiche si imita il rilievo dei corpi, dando alle linee della figura piana di un oggetto a tre dimensioni, le medesime posizioni relative ch' esse hanno nell' imagine di questo oggetto sulla retina. Anche questo elemento però non vale che per oggetti poco lontani.

3.° Dalla distribuzione delle ombre e delle penombre sul corpo rischiarato. Un cerchio sembra una sfera, se le ombre vi sono dipinte in modo da assomigliare quelle che ci presenta una sfera reale rischiarata da una parte.

4.° Pel concorso simultaneo dei due occhi. L'imagine che di un oggetto si dipinge in un occhio non è precisamente identica a quella che si forma nell'altro, giacchè i due occhi non sono situati nella stessa maniera in ordine all'oggetto. I due disegni della figura 476 rappresentano l'imagine di un solo oggetto, veduto successivamente coi due occhi. In ognuna di queste imagini sonvi due parti distinte: una comune all' imagine dell' altro occhio, e la seconda propria dell'imagine di ciascun occhio. Quando si guarda l' oggetto coi due occhi simultaneamente, le due parti comuni si confondono, e le due parti proprie ad ogni imagine si aggiungono, l'una da una parte e l'altra dall'altra, alla porzione comune (fig. 477); e dalla combinazione di queste

Fig. 476.

Fig. 477.

diverse sensazioni risulta il sentimento delle tre dimensioni e del rilievo del corpo. I due occhi abbracciano, per così dire, la superficie degli oggetti, in modo da vedere non solamente la parte anteriore, ma ancora una porzione delle parti laterali.

Stereoscopio. Questi principj suggerirono a Wheathstone la costruzione di un apparato ingegnoso, che serve loro di prova, per mezzo del quale si veggono in rilievo i disegni, fatti su di una superficie piana, di un corpo in cui le tre dimensioni abbiano una notevole grandezza relativa. Dall' ufficio a cui serve tale strumento venne chiamato *stereoscopio.* Desso è una piccola scatola di legno (fig. 478), che da un lato porta due tubi direttori degli assi ottici dei due occhi, ed alla parte opposta mostra due disegni del medesimo oggetto, l'uno de' quali rappresenta l' oggetto nella prospettiva dell'occhio destro e l'altro in quella del sinistro. I due disegni sono illuminati per trasparenza o per riflessione; e nei tubi direttori sono collocati due prismi, o le due metà di una lente convergente, disposti in modo che i raggi irradiati dai disegni, prima d'arrivare agli occhi, siano deviati per quanto è necessario onde le due imagini abbiano da soprapporsi. L'imagine del rilievo riesce tanto chiara da produrre un' illusione completa.

Fig. 478

515. **Acromatopsia**. Per qualche persona le impressioni di alcuni od anche di tutti i diversi colori sono identiche. Questa inettitudine dell'occhio a distinguere i colori, od almeno certi colori, si chiama *acromatopsia*, od anche *daltonismo*, perchè il fisico Dalton che la studiò particolarmente, ne era egli stesso affetto.

Gli Annali dell'Accademia delle scienze fanno menzione di tutta una famiglia, che non distingueva punto il rosso dal verde; sicchè per essa i fiori di melagrano, i frutti di ciriegio non differivano dalle foglie che nella forma. Herschel cita il fatto di un individuo, che vedeva tutti i corpi colorati in giallo od in turchino; dai raggi più rifrangibili aveva la sensazione, che chiamava del *turchino*, e dai meno rifrangibili quella che diceva del *giallo.*

Si cerca di spiegare l'acromatopsia, supponendo che la retina sia formata da tante fibre diverse corrispondenti ai varj colori, e vibrino le une piuttosto che le altre a seconda delle qualità dei raggi colorati che arrivano all'occhio, allo stesso modo che nell' arpa variano le corde vibranti sotto l' influenza dei differenti suoni prodotti in vicinanza. In questa ipotesi l'acromatopsia sarebbe dovuta alla mancanza parziale o totale di sensibilità nelle fibre corrispondenti ai colori che non si distinguono.

516. **Colori accidentali**. Le imagini persistenti nella retina, che succedono all'azione diretta di un oggetto luminoso, spesse volte appajono tinte di un colore diverso dal naturale. Questi colori che si manifestano per l'influenza di una sensazione precedente diconsi *accidentali*, e possono manifestarsi in diverse circostanze. 1.° Se mirasi attentamente un oggetto colorato posto sopra un fondo nero, dopo qualche tempo la tinta di questo oggetto perde del suo splendore; e se allora si chiudono gli occhi o si volgono ad una superficie bianca, si scorge un'imagine della stessa forma dell'oggetto, ma di colore complementare. Per un oggetto verde l'imagine è rossa, per uno giallo, è violetta, e viceversa.

2.° Se invece di guardare una superficie bianca, si chiudono rapidamente gli occhi, e si difendono con tutta la cura dall'azione ulteriore della luce, per mezzo di una stoffa compatta, i colori accidentali si manifestano ancora, scompajono e riappariscono alternativamente per parecchie volte di seguito. Alla vista di un oggetto bianco sopra un fondo nero succede un'imagine nera in campo bianco. Quando si chiudono gli occhi, dopo d'averli tenuti fissi per qualche tempo ad una finestra, sulla quale vi sia l'inferriata, mentre era illuminata dalla luce viva del giorno, si vede una finestra, in cui le aste dell'inferriata sono bianche, ed i rettangoli da esse determinati sono neri.

3.° Se la superficie alla quale si volge lo sguardo è colorata, la tinta che si percepisce in seguito è quella che sarebbe prodotta dalla mescolanza del colore della superficie col colore complementare dell'oggetto guardato prima. Da ciò si può dedurre che i colori accidentali si combinano coi colori naturali, secondo la stessa legge colla quale i colori naturali si uniscono tra loro.

4.° Se sopra una superficie nera si mettono vicini due quadrati di carta, diversamente colorati, per esempio, l'uno in turchino e l'altro in ranciato, e si guarda alternativamente per una quarantina di volte un punto nero segnato al mezzo di ciascun quadrato, ed in seguito si volgono gli occhi ad una superficie bianca, si veggono tre quadrati tinti diversamente: ciascuno dei due estremi ha il colore complementare del quadrato che si trova alla stessa parte, ed il medio presenta la tinta risultante dalla mescolanza dei colori dei due estremi. Se i due quadrati hanno colori complementari, il medio scompare; ma se dopo l'osservazione si coprono gli occhi, appajono di nuovo tre quadrati, dei quali il medio è nero. Così la mescolanza di due colori accidentali complementari forma il nero, e non il bianco come i colori naturali.

Teoria dei colori accidentali. Per spiegare questi fatti, molti fisici supposero che la parte della retina affaticata da un colore diventa insensibile ai raggi della stessa tinta, di modo che, guardando in seguito una superficie bianca, non si ha che l'impressione del bianco priva del colore precedente, cioè si percepisce il colore complementare di questo. Ma i colori accidentali appajono anche nella oscurità completa; e d'altronde quando si osserva una superficie di color semplice differente da quella fissata prima, questo colore sembra tuttora modificato.

Plateau espose una nuova teoria dei colori accidentali. Egli ammette pure che l'azione prolungata dei raggi di un certo colore diminuisce momentaneamente la sensibilità della retina pei raggi dello stesso colore. Ma aggiunge anche che la retina scossa dal movimento vibratorio dell'etere ritorna alla quiete gradatamente, e per una serie d'oscillazioni contrarie, che diminuiscono successivamente d'ampiezza. Perciò la retina sotto l'impressione della luce dapprima diminuisce gradatamente di sensibilità pel colore della luce stessa, e quindi lo splendore dell'oggetto osservato per lungo tempo sembra indebolirsi. In seguito la retina, sottratta a questa impressione, reagisce per mettersi nello stato di riposo, tanto più rapidamente quanto maggiore fu la durata dell'azione precedente. Da ciò dipendono le alternative, spesso osservate, nelle quali l'imagine accidentale si estingue e ricompare parecchie volte.

La teoria di Plateau dà ragione delle principali apparenze accidentali, ma ve ne sono altre che non basta a spiegare; giacchè i colori accidentali dipendono anche dallo splendore dell'oggetto, dalla durata dell'osservazione, dalla fatica della retina, e probabilmente anche dalle particolarità dell'occhio di chi esperimenta: sono imagini soggettive, e quindi per spiegarle completamente bisogna tener conto di tutte le condizioni dell'organo della vista; il che non è sempre possibile.

517. **Irradiazione**. L'irradiazione è un fenomeno pel quale gli oggetti bianchi o di un color molto vivo, allorquando sono visti sopra un fondo oscuro, sembrano ingranditi. Il contrario accade di un corpo nero veduto in un fondo bianco. Guardando attentamente, e nello stesso tempo, due cerchi di raggi esattamente eguali, l'uno bianco in campo nero, e l'altro nero in fondo bianco, il primo apparisce notabilmente più grande del secondo.

Per spiegare questo fenomeno si ammette che generalmente l'impressione prodotta sulla retina estendasi al di là del contorno dell'imagine. Quando il cerchio è bianco e situato in una su-

perficie nera, sulla retina si forma l'imagine del cerchio, che pertanto, estendendosi al di là del contorno, ne aumenta la grandezza; ma se il cerchio è nero ed il campo bianco, l'imagine che si forma sulla retina è quella del fondo, la quale pertanto, estendendosi oltre la circonferenza del cerchio, ne diminuisce la grandezza.

L'irradiazione aumenta notabilmente la grandezza apparente degli astri. Giusta le ricerche di Plateau, l'irradiazione varia assai da una persona ad un'altra, ed anche, per una medesima persona, da un giorno all'altro. Questo scienziato constatò inoltre che l'irradiazione cresce collo splendore dell'oggetto, e colla durata dell'osservazione. Finalmente, essa si manifesta a tutte le distanze; ed è accresciuta dalle lenti divergenti, e diminuita dalle convergenti.

518. **Aureole accidentali.** Le aureole accidentali sono colori che invece di succedere all'osservazione di un oggetto, come i colori accidentali, appajono attorno al medesimo quando lo si mira attentamente. L'apparenza dell'aureola è opposta a quella dell'oggetto, vale a dire, se questo ha colorito chiaro, l'aureola è oscura; e se l'oggetto è di colore oscuro, l'aureola mostra una tinta chiara. Quando si tien l'occhio fisso verso un disco colorato, posto in un fondo bianco, alla fine di qualche tempo si vede il disco circondato da una debole aureola di colore complementare. Se il disco è bianco in fondo colorato, alla sua circonferenza presenta il colore complementare del fondo.

Plateau estese alle aureole l'ingegnosa teoria con cui spiega i colori accidentali. Allorchè si guarda un oggetto vivamente rischiarato, ha luogo il fenomeno dell'irradiazione, ossia il movimento della retina si estende al di là dell'imagine, indebolendosi però a misura che si allontana dal limite dell'imagine medesima, ed annullandosi ad una certa distanza da esso. Al di là di queste linee di riposo, la retina assume un movimento opposto, come in una piastra vibrante le parti circostanti ad una linea nodale si movono in senso contrario. Plateau potè osservare alcune alternative, che confermano questa spiegazione, vidde cioè l'aureola circondata da un'altra secondaria avente lo stesso colore del corpo.

Contrasto simultaneo dei colori. Dalla formazione delle aureole accidentali consegue che due tinte o due colori vicini debbono esercitare una reciproca influenza, e quindi produrre un effetto diverso da quello che si avrebbe quando fossero isolati. Ciò avviene di fatto. Se si pongono vicine due fascie diversamente colorate, e ad una certa distanza, per termine di confronto, se ne collocano due altre dello stesso colore, si constata che il co-

lore dell'una è modificato dalla vicinanza dell'altra. Per esempio, se l'una è rossa e l'altra gialla, la prima assume una tinta che tende al violetto, e la seconda ne mostra una che volge al verde. Ciò si distingue col nome di *contrasto simultaneo dei colori*, e l'industria può farne le più belle applicazioni.

I principali risultati delle esperienze fatte sul contrasto dei colori si possono ridurre ai seguenti. 1.° La tinta di ciascuno dei due colori vicini è modificata dalla mescolanza col colore complementare dell'altro. 2.° Se i due colori sono reciprocamente complementari, ambedue si rinforzano a vicenda ed aumentano di splendore. 3.° Se all'uno dei due colori si sostituisce il bianco od il nero, l'altro appare circondato da un'aureola del suo colore complementare, e diventa più splendido. 4.° Anche il bianco ed il bruno si rinforzano per la mutua vicinanza: quello diventa più vivo, e questo più oscuro. 5.° Qualunque sia il colore di due corpi diversamente luminosi, quando sono ravvicinati, la differenza apparente dei loro poteri illuminanti cresce: l'uno si mostra più luminoso e l'altro meno che se fossero veduti separatamente. Gli effetti del contrasto si estendono dunque anche all'intensità della luce. 6.° Questi medesimi effetti si mostrano anche quando i colori non sono a contatto, ma diminuiscono in ragione della distanza.

ARTICOLO SECONDO

VISIONE COMPOSTA.

519. **Strumenti d'ottica — loro distinzione**. I limiti della visione possono essere estesi in maniera straordinaria per mezzo d'ingegnosi apparati, detti *strumenti d'ottica*. Gli strumenti d'ottica ordinariamente vengono distinti in tre classi. Alcuni aumentano notevolmente la portata della visione, servono ad osservare gli astri o gli oggetti molto lontani, e si appellano *telescopj* o *cannocchiali*. Altri accrescono le dimensioni delle imagini degli oggetti, in modo che servono ad osservare chiaramente le più minute cose, come le parti elementari dell'organismo, i piccolissimi animaletti invisibili ad occhio nudo notanti in molti liquidi, ecc. Dessi si chiamano *microscopj*. L'ultima classe potrebbe comprendere quegli strumenti che riproducono in un diaframma le imagini ingrandite od impiccolite degli oggetti, e servono a copiarli, a produrre le più curiose apparenze, ecc. Tali sono la camera oscura, la camera chiara, la lanterna magica, la fantasmagoria, il megascopio, il microscopio solare, il microscopio fotoelettrico, ecc.

520. **Telescopj.** I telescopj formati da sole lenti si dicono *rifrattori* o *telescopj diottrici,* quelli composti di lenti e di specchi si appellano *riflettori* o *telescopj catadiottrici.*

Rifrattore astronomico. Il rifrattore astronomico essenzialmente consiste in due lenti acromatiche convergenti, disposte attorno ad un asse comune, in un tubo cilindrico annerito nell'interno, da cui sono connesse assieme. L'una M (fig. 479) di queste lenti appellasi l'*oggettivo,* perchè è rivolta all'oggetto da osservare, e l'altra N chiamasi l'*oculare,* perchè ad essa si applica l'occhio nell'osservazione. L'oggettivo forma in *ab* un'imagine reale e rovesciata dell'oggetto lontano AB; e l'oculare è disposto al di là di questa imagine, in modo da presentare all'occhio dell'osservatore un'imagine *a'b'*, virtuale e diritta, della prima *ab*.

Fig. 479.

L'imagine *ab* è molto più piccola dell'oggetto; ma l'imagine *a'b'* è maggiore dell'altra; e per conseguenza l'ingrandimento è prodotto dal solo oculare e relativo alle due imagini. Tuttavia appellasi ingrandimento il rapporto del diametro apparente sotto cui si scorge l'oggetto per mezzo del telescopio, al diametro apparente sotto cui lo si vede ad occhio nudo. L'oggettivo deve avere un diametro assai grande e poca curvatura, onde possa ricevere una notevole quantità dei raggi irradiati dall'oggetto, e produrre un'imagine molto luminosa; altrimenti questa imagine, venendo ingrandita dall'oculare, diviene pallida e confusa.

La distanza delle due lenti non è la stessa pei diversi osservatori: pei miopi è minore e pei presbiti è maggiore di quella che conviene a coloro che hanno vista normale. Anche per uno stesso osservatore fa d'uopo avvicinare le due lenti, quando l'oggetto si allontana; perchè in questo caso l'imagine reale si accosta al fuoco dell'oggettivo.

L'ingrandimento lineare di un rifrattore astronomico eguaglia prossimamente il rapporto fra le distanze focali dell'oggettivo e dell'oculare. Infatti $bOa : bCa = CF : OF$. Ma $bCa = ACB$; dunque $bOa : ACB = CF : OF$. Perciò, essendo bOa l'angolo sotto cui si guarda il diametro apparente dell'oggetto per mezzo del rifrattore, ed ACB quello con cui lo si mira ad occhio nudo, $\frac{bOa}{ACB}$ rappre-

senta l'ingrandimento prodotto dal rifrattore, eguale ad $\frac{CF}{OF}$. Per conseguenza l'ingrandimento di un rifrattore è in ragion diretta della distanza focale dell'oggettivo, ed in ragione inversa della distanza focale dell'oculare; ossia aumenta diminuendo il potere convergente dell' oggettivo, od accrescendo quello dell' oculare. La lunghezza del rifrattore eguaglia approssimativamente la somma delle distanze focali delle due lenti; quindi è tanto maggiore quanto più aumenta la distanza focale dell' oggettivo. Perciò la forza di un rifrattore spesso viene indicata per mezzo di questa distanza o della lunghezza dello strumento. D'ordinario in un possente rifrattore è $\frac{CF}{OF}=1000$; ed allora la lunghezza dello strumento arriva agli otto metri. Quando si voglia misurare direttamente l'ingrandimento prodotto da un telescopio, basta dirigerlo verso una scala graduata, di maniera che l' imagine veduta con un occhio attraverso del telescopio si soprapponga alla scala che nello stesso tempo si osserva coll'altro occhio. Quindi si conta il numero delle divisioni che si scorgono ad occhio nudo in una divisione vista per mezzo del telescopio. Questo numero rappresenta l' ingrandimento lineare dello strumento.

Ordinariamente il tubo, nel quale sono collocate le due lenti che formano il rifrattore astronomico, è disposto sopra di un

Fig. 480.

treppiede (fig. 480), e consta di due parti: l' una, più corta e

più stretta, all' estremità libera porta l' oculare, e può scorrere nell'altra che porta l'obbiettivo all'estremità opposta. Al dissopra del tubo maggiore è fisso un piccolo cannocchiale, detto il *cercatore*, il quale ingrandisce meno, ma ha un campo molto più ampio di quello del telescopio, e serve a trovare l'astro che si vuole osservare. Nell'interno del medesimo tubo, e propriamente nel piano focale dell' oggettivo, onde intercettare tutti i raggi che potrebbero diminuire la chiarezza dell' imagine, si dispone un diaframma al cui centro è praticato un foro circolare. Quando poi il telescopio deve servire a determinare con precisione il momento in cui l'astro passa al meridiano, s'introduce in quel tubo anche il *reticolo*, ossia due fili sottilissimi di platino o di seta tesi in croce davanti all' apertura del diaframma. Il punto d'incrociamento dei fili è collocato sull'asse ottico del telescopio, e determina la *linea di mira*.

Rifrattore terrestre. I rifrattori astronomici non si prestano bene all'osservazione dei corpi terrestri, perchè ne capovolgono l'imagine. Per guardare oggetti lontani posti alla superficie della terra si adoperano appositi rifrattori, detti perciò *terrestri*, nei quali l'imagine è raddrizzata. Essi sono composti da un oggettivo M (fig. 481) da un oculare R, e da due altre lenti convergenti P e Q, collocate fra le prime due in modo che i loro fuochi principali coincidano prossimamente nel punto H, e l'imagine *ab* prodotta dall'obbiettivo si formi nel fuoco principale della lente P. Per tale disposizione, quando con questo rifrattore si guardi un oggetto AB, si formeranno di esso due imagini reali: l'una *ab* rovesciata, e l'altra *a'b'* che, per l'incrocicchio dei raggi in H, sarà diritta relativamente all'oggetto medesimo; e poichè l'occhio non giudica fuorchè dell'ultima direzione dei raggi che gli pervengono, è evidente che l'osservatore situato dietro l'oculare R scorgerà un'imagine *a''b''* virtuale e diritta dell'oggetto AB.

Fig. 481.

Le due lenti P e Q non fanno che raddrizzare l' imagine; quindi nel rifrattore terrestre l'ingrandimento è lo stesso che nel rifrattore astronomico. Queste due lenti sono fisse nel tubo del cannocchiale; ma l'oggettivo M è mobile, in modo che può essere avvicinato od allontanato dalla lente P, sicchè l'imagine *ab* si trovi sempre nel fuoco della medesima lente. Anche la distanza dell'o-

culare R dall' imagine *a′b′* è variabile, a condizione che sia sempre minore della lunghezza focale della lente stessa.

Cannocchiale di Galileo. La molteplicità delle riflèssioni ed il notevole assorbimento di luce nei rifrattori composti di parecchie lenti possono nuocere assai alla chiarezza delle imagini. Epperò, quando si tratti di guardare oggetti non molto illuminati, è meglio servirsi del *rifrattore o cannocchiale di Galileo,* formato con due sole lenti. L' obbiettivo è ancora una lente convergente M (fig. 482); ma l'oculare è una lente divergente R, ed è lontano dall'oggettivo di una lunghezza OO′ minore della distanza focale dell' oggettivo medesimo. Perciò i raggi spiccantisi da un oggetto AB, che ne dipingerebbero in *ab* l' imagine reale e rovesciata, passando nell'oculare R divergono non altrimenti che se fossero partiti da *a′b′*, onde l'occhio scorge qui un' imagine virtuale e diritta dell' oggetto AB. L' ingrandimento di questa imagine è ancora espresso dal rapporto degli angoli visuali *a′O′b′*, AOB, o delle distanze focali delle due lenti. L' oculare viene spostato fra certi limiti, onde ottenere sempre l' imagine *a′b′* alla distanza della visione distinta.

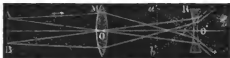



Fig. 482.

Il cannocchiale di Galileo è corto, e perciò comodamente portatile. Ma desso ha un campo molto ristretto, perchè i raggi uscendo dall'oculare sono divergenti; quindi nell' uso di questo strumento fa d'uopo accostare l'occhio più che sia possibile all' oculare.

Con due piccoli cannocchiali di Galileo si formano gli ordinari *binoculi* o *cannocchiali da teatro,* per mezzo dei quali si osservano gli oggetti simultaneamente con ambedue gli occhi.

521. **Riflettori**. I riflettori adoperati nelle osservazioni astronomiche sono quelli, che dai nomi dei loro inventori, si chiamano di Gregory, di Cassegrain, di Newton e di Herschel.

Telescopio o riflettore di Gregory. Il telescopio di Gregory consiste in un lungo tubo di ottone, in cui sono collocati due specchi concavi M ed N (fig. 483). Lo specchio M, fisso ad una estremità del tubo, lo abbraccia completamente, ed al suo centro forato porta l' oculare P; e lo specchio N, molto più piccolo, è situato dirimpetto all'oculare. Questi specchi sono separati da un intervallo poco maggiore della somma delle loro distanze focali; ed i loro assi coincidono con quello del tubo. È facile prevedere il processo dei raggi luminosi che penetrano in questo apparato dalla estremità O. Essi, arrivati alla superficie dello specchio M, si riflettono, ed incrocicchiandosi in *o*, danno origine ad una

piccola imagine ab reale e rovesciata dell'oggetto da cui sono partiti. In seguito questi raggi sono riflessi anche dallo spec-

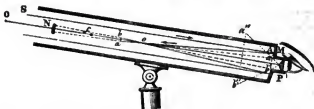



Fig. 483.

chio N; ed in $a'b'$ formasi un'altra imagine reale, capovolta relativamente alla prima, che osservata attraverso l'oculare P appare ingrandita in $a''b''$. L'ampiezza di tale imagine dipende dalla curvatura dei due specchi, dalla loro distanza, e dalla distanza focale dell'oculare.

Lo specchietto N è mobile lungo l'asse del tubo, onde adattare lo strumento alle diverse distanze degli oggetti che si osservano; e se ne ottiene il movimento per mezzo dell'asta AB (fig. 484).

Fig. 484.

Telescopio o riflettore di Cassegrain. Nel telescopio di Cassegrain lo specchio N è surrogato da uno specchio convesso posto tra lo specchio M e l'imagine *ab*. Così si ottiene uno strumento meno lungo di quello di Gregory, in cui le aberrazioni di sfericità dei due specchi si compensano parzialmente; ma con esso gli oggetti appajono rovesciati.

Telescopio o riflettore di Newton. Il riflettore di Newton differisce da quello di Gregory in questo che lo specchio concavo M (fig. 485), posto al fondo del tubo, non è forato, e lo specchietto N non è concavo, ma piano a contorno elittico, ed inclinato di 45° sull'asse del tubo. Inoltre, questo specchio N è collocato fra l'altro specchio M ed il fuoco di esso, e l'oculare è posto al lato del tubo. I raggi riflessi dallo specchio M, e po-

scia dallo specchietto N, dipingono in *ab* una piccola imagine del corpo esterno a cui è diretto il telescopio; e l'osservatore, per effetto dell'oculare *o*, la scorge ingrandita in *a'b'*. L'ingrandimento ottenuto per mezzo di questo telescopio, come nel rifrattore astronomico, è proporzionale al rapporto fra le distanze focali dello specchio e dell'oculare.

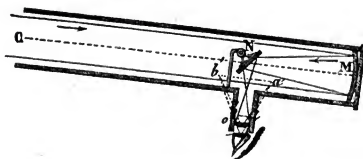



Fig. 485.

Quando si vuole ottenere un notevole ingrandimento gli specchi sferici sono surrogati da altri parabolici od elittici, onde evitare la confusione prodotta dall'aberrazione di sfericità.

Telescopio o riflettore di Herschel. Finalmente il telescopio di Herschel, attribuito anche a Lemaire, non ha che un solo specchio concavo M (fig. 486), inclinato sull'asse del tubo in modo che i raggi provenienti da un oggetto lontano e riflessi da quello specchio ne formano un'imagine rovesciata *ab* presso l'oculare *o*, situato al basso dell'apertura per cui la luce entra nel telescopio. L'occhio pertanto scorge in *a'b'* un'imagine rovesciata e virtuale dell'oggetto. Col telescopio di Herschel si può ottenere un'imagine molto ampliata e chiara, giacchè la luce, riflettendosi una sola volta, soffre un indebolimento minore. Lo stesso Herschel, applicando al suo apparato uno specchio di 12 metri di distanza focale, potè osservare gli astri ingranditi straordinariamente nel rapporto di 1 a 6000.

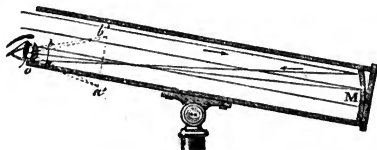



Fig. 486.

I riflettori furono adoperati finchè non si seppe correggere negli oggettivi l'aberrazione di rifrangibilità. Ma appena trovata la ma-

niera di fabbricare grandi oggettivi acromatici, a quelli si preferirono i telescopj diottrici. Se non che la recente scoperta di inargentare il vetro ha novellamente introdotto l'uso dei grandi riflettori, e Foucault ora costruisce telescopj diottrici a specchio di vetro inargentato, che per la chiarezza delle imagini non la cedono ai più perfetti rifrattori acromatici.

522. **Microscopj**. I microscopj sono *semplici* o *composti*. Una lente convessa qualsiasi a corto fuoco, od un sistema di più lenti soprapposte in guisa da operare come una lente sola, è un *microscopio semplice*. Esso serve a vedere chiaramente quegli oggetti che alla distanza visuale di chicchessia comparirebbero troppo piccini. Sia AB (fig. 487) un oggetto piccolissimo, e supponiamo di osservarlo col microscopio semplice M. Se quell'oggetto è situato fra la lente ed il fuoco principale F, sappiamo che i raggi inviati da A alla lente, ne escono tuttora divergenti, epperò non s' incontrano, ma pigliano peraltro tali direzioni che, prolungandoli indietro, ossia dalla parte stessa dell' oggetto, s' incontrerebbero in un punto *a* dell' asse secondario AO; e similmente i raggi partiti da B procedono in maniera che prolungati dalla banda opposta s'incrocicchierebbero in un punto *b* dell' asse secondario BO. D' onde *ab* sarà l' imagine diritta, virtuale ed ampliata dell'oggetto AB, vista dall'osservatore nel caso supposto. La posizione e la grandezza di questa imagine variano colla distanza dell' oggetto dal fuoco.

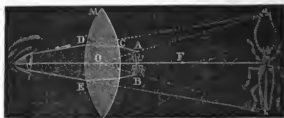



Fig. 487.

L' ingrandimento lineare di un microscopio semplice è prossimamente espresso dal rapporto fra la distanza della visione distinta dell' osservatore e l' ampiezza focale della lente o del sistema di lenti. Perciò, volendo sapere qual debba essere la distanza focale della lente onde produrre un dato ingrandimento, basterà dividere la distanza della visione distinta dell'individuo, a cui il microscopio deve servire, pel numero che rappresenta l'ingrandimento voluto.

Raspail, per rendere comodo l'uso del microscopio semplice, lo sostiene con un'asticina orizzontale (fig. 488), unita ad una seconda asta verticale e dentata, che, per mezzo di una vite a bottone D, può essere fra certi limiti innalzata od abbassata lungo un tubo fisso, in cui è adattata. Alla parete esterna di questo medesimo tubo sono collegati uno specchio concavo M ed un anello orizzontale B, che dallo scopo a cui serve si chiama il *portaoggetto*. I centri dello specchio e del porta-oggetto sono prossimamente nella verticale del centro della lente A: il porta-oggetto è fisso, e lo specchio è mobile attorno a due assi che si tagliano ad angolo retto. Per questa disposizione dell'apparato, si può dirigere una grande quantità di luce all'oggetto, che dev'essere sempre molto chiaro, onde l'imagine acquistando di grandezza non abbia a scomparire; e l'osservatore è in grado di spostare la lente fino a che trovi la posizione corrispondente alla massima nitidezza dell'imagine.

Fig. 488.

Il *microscopio composto* essenzialmente è formato da due lenti convergenti, delle quali una dicesi ancora *oggettivo*, e l'altra chiamasi *oculare*. È cosa manifesta che se l'oggetto AB (fig. 489)

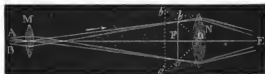



Fig. 489.

è poco più lontano dall'oggettivo M che non sia il fuoco, l'imagine si forma in *ab* dalla banda contraria. Dessa è reale, rovesciata e molto più grande del vero. Perciò quando l'oculare N sia disposto in guisa che il suo fuoco F venga a cadere fra l'oggettivo e l'imagine reale *ab*, un osservatore, situato dietro N, scorgerà l'imagine virtuale *a'b'* non altrimenti che se *ab* fosse un oggetto collocato innanzi al microscopio semplice N. L'ingrandimento lineare di un microscopio composto è dunque

espresso dal prodotto degli ingrandimenti lineari delle due lenti che lo costituiscono. Se l'oggettivo, per esempio, produceva già un'imagine quadrupla dell'oggetto, e l'oculare la ingrandisce 10 volte, è troppo chiaro che otterremo un ingrandimento totale pari a 40, e la superficie dell'oggetto osservato diverrà perciò 1600 volte maggiore.

Per misurare esperimentalmente l'ingrandimento prodotto da un microscopio, si adopera il *micrometro*, od una piccola lamina di vetro sulla quale sono tracciate alcune linee parallele, separate da un intervallo di $^1/_{10}$ ad $^1/_{100}$ di millimetro. Posto il micrometro davanti all'obbiettivo, invece di applicare direttamente l'occhio ai raggi che escono dall'oculare O (fig. 490), si ricevono in una lamina di vetro A, a facce parallele, inclinata di 45° sull'asse principale del microscopio, e si volge lo sguardo in maniera da scorgere per riflessione l'imagine delle linee del micrometro in un diaframma E. Il prodotto del numero delle divisioni che appajono in questa imagine per la grandezza lineare dell'imagine stessa esprime l'ingrandimento del microscopio.

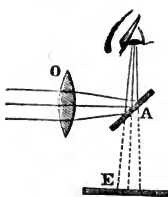



Fig. 490.

La distanza rispettiva delle due lenti o quella dell'oggetto dall'oggettivo deve aumentare se l'osservatore ha vista lunga, ed accorciarsi nel caso contrario. Un microscopio composto che fosse fabbricato con due sole lenti ci farebbe comparire gli oggetti vivamente colorati, per l'aberrazione di sfericità, che d'ordinario è proporzionale all'ingrandimento. Per rimediare a questo inconveniente, l'obbiettivo e l'oculare sono sempre formati da più lenti.

Microscopio d'Amici. Al microscopio composto, costrutto per la prima volta nel 1590, si diede per lungo tempo una disposizione verticale. Ma l'adoperarlo così riesciva molto incomodo, specialmente nelle osservazioni di lunga durata. Amici ebbe la felice idea di porre orizzontalmente l'asse dell'oculare, conservando all'asse dell'oggettivo la direzione verticale, in guisa che tale fosse tuttora anche quella del porta-oggetto.

Il sostegno del microscopio d'Amici (fig. 491) non differisce che accidentalmente da quello del microscopio semplice. L'oggettivo E è formato da una, da due o da tre lenti, come quella rappresentata in K, le cui distanze focali variano da 8 a 10 millimetri circa. L'oculare AH consiste in due lenti piano-convesse, colle facce piane volte verso l'osservatore. Quanto alla via che la luce tiene in questo microscopio, facile è l'imaginarla.

I raggi luminosi partenti dall'oggetto passano l'oggettivo E, si riflettono totalmente sull'ipotenusa di un prisma rettangolare P, e propagandosi secondo la direzione del tubo GA, arrivano alla lente H. Questa li converge in guisa che si ha l'imagine *a* reale e rovesciata dell'oggetto. L'osservatore guarda una tale imagine attraverso la lente A, e la scorge virtualmente in *bc* ancora più ampliata. La lente H, mentre concorre ad aumentare la grandezza dell'imagine, giova ad estendere il campo del microscopio, ed a rendere perfetto l'acromatismo dell'apparato, sempre incompleto negli oggettivi. I diaframmi *q*, *m* ed *n* servono ad impedire la confusione che nascerebbe nelle imagini per effetto dell'aberrazione di sfericità.

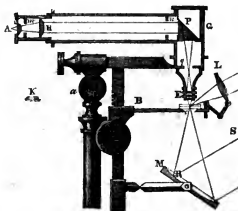



Fig. 491.

Il modo d'illuminare l'oggetto non è costantemente il medesimo. Se questo è trasparente viene rischiarato colla luce riflessa dallo specchio M; ed invece quando è opaco lo è colla luce concentrata dalla lente L, che si unisce al porta-oggetto. Per ottenere nei casi particolari quell'ingrandimento che si giudica opportuno all'esatezza dell'osservazione, si fornisce il microscopio di varj oggettivi ed oculari.

L'asse dell'oculare nel microscopio d'Amici può essere disposto in direzione verticale od anche più o meno inclinata al piano dell'apparato. Per ottenere quest'ultima disposizione, basta levare una chiavarda *m*, che ferma l'apparecchio alla parte inferiore, e rotare tutto il sistema intorno all'asse orizzontale di una cer-

niera *a* (fig. 492), che collega il microscopio alla colonna cilindrica di sostegno. Invece quando l'osservatore vuol avere verticale il tubo AG, si leva il pezzo a gomito G, e con esso il prisma interno, e si adatta il tubo dell'oculare all'anello che porta l'obiettivo.

Fig. 492.

Microscopio bioculare. Il microscopio d'Amici non serve per altro a guardare l'oggetto simultaneamente con ambedue gli occhi. Nachet costrusse un microscopio che si presta a meraviglia anche a questo intento. Per formarci un' idea di tale apparato, imaginiamo che al dissopra dell'obiettivo sia posto un prisma isoscele in modo che il vertice di esso sia all'alto, e la base sia parallela al piano dell'obiettivo medesimo. Ai lati di questo prisma collochiamo due altri prismi paralleli ed opposti ad esso, ed in seguito a loro fermiamo due oculari. È chiaro che in grazia di questa disposizione i fascetti luminosi irradiati dall'oggetto, dopo d'aver attraversato l'obiettivo, penetrano nella base del primo prisma, si riflettono sulle due facce di esso, e

bipartendosi passano gli altri due prismi, ed arrivano agli occhi dell'osservatore attraverso ai corrispondenti oculari. Se l'ingrandimento è mediocre, col microscopio bioculare si distingue il rilievo dei piccoli oggetti con una chiarezza sorprendente.

523. **Camera oscura portatile**. La camera oscura venne felicemente applicata per copiare i paesaggi, gli edifizj e simili. Siccome per altro a questo uso importa soprattutto di poter cambiare la veduta, così si adopera una *camera oscura portatile*, che solitamente è una cassetta di legno o di cartone (fig. 493) an-

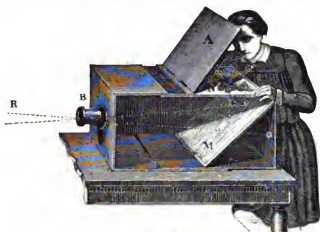



Fig 493

nerita di dentro, dove la lente è fermata in una parete laterale B, e lo schermo è un vetro smerigliato N che sta incorniciato nella parete superiore. La luce entra orizzontalmente nella cassetta, ed è riflessa in su da uno specchio inclinato M che vi è disposto. La scatola è formata da due parti, una delle quali può scorrere nell'altra, in modo che, allontanando più o meno il pezzo anteriore, l'imagine cada sullo schermo, qualunque sia la distanza dell'oggetto di cui vuol farsi la copia. Riducendo così orizzontali le imagini, si toglie lo sconcio che siano capovolte, ed appariscono a chi guarda per dissopra (per essere lo schermo traslucido) nella positura che sogliamo dare alle stampe, alle scritture, quando le poniamo sopra una tavola per osservarle. Il diaframma A serve ad intercettare la luce che, rischiarando tutto lo schermo N, impedirebbe di vedere l'imagine. La camera oscura descritta chiamasi *portatile a cassetta.*

In altre camere oscure, dette *portatili a prisma*, la lente è fissa alla parte superiore dell'apparecchio in un astuccio di ottone A (fig. 494), e consiste in un prisma triangolare P (fig. 495), che mentre converge i raggi luminosi, per effetto della curvatura di due sue facce, colla terza fa anche l'ufficio di specchio. Perciò i raggi da un oggetto AB inviati al prisma P, si riflettono totalmente sulla faccia *cd*, e formano un'imagine reale *ab* del corpo da cui sono partiti, sotto alla lente, ossia (fig. 494) sullo schermo o tavoletta B, posta sul fondo della cassetta, quando vi sia tra esso e la lente il giusto intervallo. Il disegnatore introduce la persona nella cassetta per una larga apertura della parete, che è dirimpetto all'oggetto, sicchè egli volge a questo le spalle; ed allora le imagini gli stanno sotto gli occhi come nell' altra camera oscura portatile. D'ordinario la cassetta nella camera a prisma consiste in un panno nero, steso sopra tre aste, unite a cerniera, che sostengono l'astuccio A, e possono essere avvicinate, quando si levi la tavoletta B.

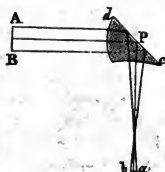



Fig. 494.

Fig. 495.

Camera chiara. La camera chiara, o camera lucida, è una graziosa applicazione delle proprietà dei prismi e del fenomeno della riflessione totale. Ne abbiamo due principali: l' una dovuta a Wollaston, e l'altra imaginata dall'Amici.

Fig. 496.

La camera chiara di Wollaston consiste in un piccolo prisma di vetro a quattro facce, la cui sezione retta è rappresentata dal quadrilatero ABCD (fig. 496), ed in una lente I. Nel prisma ogni angolo ha una grandezza determinata: l'angolo A è retto, l'angolo C è di 135°, e ciascuno degli angoli B e D è di 67°, 30′. Inoltre esso può essere spostato lungo od anche intorno all'asse. Da ciò apparisce chiaramente che, essendo la fac-

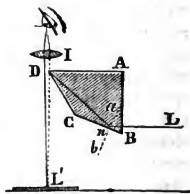
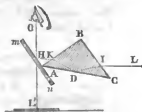
cia AB rivolta all'oggetto che si vuol copiare, i raggi partenti da esso entrano nel prisma perpendicolarmente a questa faccia, e si riflettono totalmente in BC, perchè l'angolo d'incidenza *Lna*, eguale all' angolo B, è maggiore dell' angolo limite del vetro (447). I raggi luminosi, riflessi dalla superficie BC, percuotendo la faccia CD, subiscono una seconda riflessione totale, ed escono dal prisma in un punto prossimo al vertice D, e secondo una direzione sensibilmente perpendicolare alla faccia DA, sicchè l'occhio dell'osservatore che li riceve scorge l'imagine dell'oggetto L in L', dove può disegnarla. Se non che in questa operazione s'incontra una difficoltà nell'applicare la matita al contorno dell'imagine, giacchè questa appare più lontana che non quella. La lente I rimedia a questo sconcio; tuttavia nell'uso di simile apparato non bisogna dimenticare di tener l'occhio vicinissimo al lembo del prisma, in modo che vi penetrino contemporaneamente i due fascetti luminosi provenienti dall'oggetto e dall'estremità della matita.

La camera chiara d'Amici è preferibile a quella di Wollaston, perchè servendoci di essa possiamo spostare l'occhio fra limiti più lontani, e tuttavia scorgere simultaneamente l'imagine e la matita. Questa camera è formata di un prisma rettangolare ABC (fig. 497) di vetro, e di una lamina *mn* parimenti di vetro, a facce esattamente parallele, ed inclinata di 45° sulla base AC del prisma. Quando si vuol disegnare un oggetto L, gli si mette dirimpetto la faccia BC dell'apparato, in maniera che i raggi, come LI, spiccantisi da esso soggiacciano ad una riflessione totale alla superficie AC, ed uscendo dal prisma nella direzione KH, arrivino alla lamina *mn*. Qui si riflettono parzialmente, e percuotono l'occhio del disegnatore secondo la linea HO, il quale pertanto, non giudicando che dell'ultima direzione dei raggi, riferisce virtualmente in L' l'imagine dell'oggetto L. Questa imagine è meno viva di quella che appare nella camera di Wollaston, ed è facile indovinarne la ragione; ma può essere osservata agevolmente nell'atto stesso che coll'occhio si accompagna la punta disegnatrice.

Fig. 497.

Applicazione della camera chiara al microscopio. Vogliamo ora citare una bella applicazione della camera chiara al microscopio, in grazia di cui si possono disegnare le imagini ingrandite dallo strumento. Quando il microscopio è orizzontale, si adopera or-

dinariamente la camera chiara di Soemmering, formata da uno specchio d'acciajo pulitissimo, più piccolo della pupilla ed inclinato di 45° sull'asse dell'oculare, dinanzi a cui è fissato esternamente. Volgendo lo sguardo a questo specchietto nel senso opportuno, vi si scorge per riflessione l'imagine dell'oggetto a cui è applicato il microscopio. Nachet allo specchio sostituì un prisma triangolare, e inoltre costrusse una camera chiara applicabile ai microscopj verticali; ma ci dilungheremmo troppo dal nostro scopo, se volessimo descrivere anche queste particolarità.

524. **Apparati che servono ad ottenere l'imagine molto ingrandita di un oggetto.** Nell'insegnamento di alcune scienze importa non di rado di far comparire le imagini degli oggetti molto ingrandite, sicchè parecchie persone possano stare ad osservarle in un medesimo tempo. A questo bisogno soddisfano il *megascopio*, il *microscopio solare*, il *microscopio a gas*, ecc. Questi strumenti somigliano per l'effetto, come per la struttura, a quella macchinetta notissima, che serve di trastullo ai ragazzi, e dicesi *lanterna magica*. In fin dei conti la parte essenziale d'ognuno di questi apparati è sempre una lente convessa, da un lato della quale vien posto l'oggetto, alquanto più discosto da essa che non sia il fuoco; e dall'altra banda si colloca uno schermo bianco, in cui appare l'imagine.

La *lanterna magica* è semplicissima. Essa consiste in una scatola (fig. 498), nella quale è disposto uno specchio metallico concavo A, davanti a cui vien collocata una lampada (fig. 499),

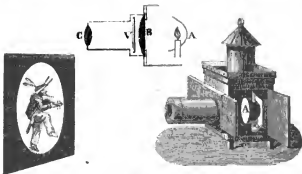



Fig. 499. Fig. 498.

in modo che la fiamma ne occupi il fuoco. I raggi riflessi dallo specchio in un fascio cadono sopra una lente convessa B, che li concentra nel vetro dipinto V. Siccome poi tutta la figura colorata su questo vetro è trasparente, così la luce caduta sopra

una faccia esce in gran parte dall'altra, e continuando la sua strada s'imbatte nella seconda lente convessa B, destinata a produrre l'imagine sopra un diaframma disposto ad opportuna distanza. Quest' imagine è reale, ampliata e capovolta rispetto al dipinto del vetro.

Fantasmagoria. Un'applicazione curiosa della lanterna magica è la fantasmagoria. Tutto il divario tra i due strumenti sta in ciò che nella fantasmagoria le imagini si dipingono sopra uno schermo di mussolina trasparente (al di là del quale si trovano gli spettatori), e cambiano progressivamente di grandezza. Per ottenere quest'ultimo effetto si muta la distanza dell'apparato dal diaframma, e nel medesimo tempo si fa variare in un rapporto determinato l'intervallo che separa le due lenti, in maniera che l'imagine, mentre diventa più grande o più piccola, cada tuttavia sul diaframma. In conseguenza di ciò lo spettatore, che non s'accorge del movimento dello strumento, e vede solo l'imagine ad ingrandire od impiccolire, crede che dessa si avvicini a lui o se ne allontani. L'illusione è completa, ed anche sorprendente per chi non s'intende molto di queste materie.

Megascopio. Quando l'oggetto di cui vuolsi ingrandire l'imagine non è trasparente, la lanterna magica non serve più all'intento. Allora si adopera il *megascopio,* destinato appunto a mostrare le imagini degli oggetti opachi, come a dire medaglie, statuette e simili. L'apparecchio assomiglia alla lanterna magica; ma le cose vi sono disposte in modo che l'oggetto vien collocato al luogo dove questa ha la lampada; ed agli angoli superiori della parete dirimpetto, ossia di quella ov'è incastonata la lente B (fig. 499), sono applicati due lumi, uno per angolo. Ciascuno di essi ha il suo specchio concavo, inclinato alquanto verso al basso, in maniera da ribattere la luce sull'oggetto. Così, mentre nella lanterna magica la luce trova una lente B prima dell'oggetto e un'altra C dopo, nel megascopio essa incontra prima di tutto l'oggetto, e poi le due lenti.

Microscopio solare. Il principio d'illuminare fortemente un oggetto, dopo d'averlo posto in condizioni favorevoli per ottenerne l'imagine molto ingrandita sopra uno schermo, fu applicato alla costruzione della lanterna magica dal P. Kircher prima del 1680; ma nell'ordine scientifico la bella idea di questo gesuita rimase senza effetto fino al 1743, in cui quella macchinetta di trastullo suggerì a Leiberkuyn di Berlino l'invenzione del microscopio solare, per mezzo del quale si ottiene nell'imagine un ingrandimento ed una chiarezza che si possono dire eminenti. Fuori della

finestra di una stanza oscura è collocato uno specchio M (fig. 500), il quale riceve la luce del sole, e la riflette in maniera da farla

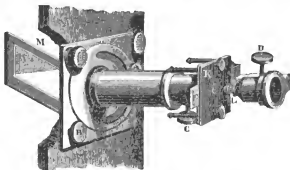



Fig. 500.

entrare orizzontalmente in un foro dell'imposta. Questo foro è la bocca di un tubo fermato all'imposta medesima, dentro della camera ed in direzione orizzontale. Al principio di questo tubo la luce incontra una lente convessa A (fig. 501), e più lontano

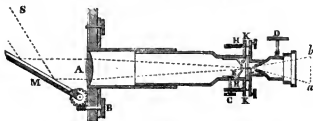



Fig. 501.

un'altra molto convergente E, sicchè si concentra sull'oggetto O e lo illumina vivamente. Di qui innanzi il tutto è come nella lanterna magica: siccome l'oggetto è trasparente, così i raggi luminosi si trasmettono in gran parte, colpiscono la lente L, la passano, e vanno a dipingere l'imagine *ab* dell'oggetto, rovesciata ed ingrandita, sopra una tela bianca o qualunque altro schermo situato alla distanza conveniente. L'oggetto posto fra due lamine di vetro viene introdotto nelle lastre metalliche KK, che si possono stringere assieme con due molle a spirale HH. Le viti a bottone D e C servono a regolare le distanze delle lenti E ed L dall'oggetto, in modo che questo si trovi precisa-

mente nel fuoco della prima, e l'imagine formata dalla seconda coincida col diaframma.

Vediamo adesso in che maniera si mantenga orizzontale il fascio di luce solare che entra nel microscopio, come necessariamente deve essere in tutto il tempo dell'osservazione. È facile a chicchessia riconoscere che per ottenere un tale effetto è necessario di comunicare allo specchio M due movimenti: l'uno attorno all'asse del tubo, e l'altro attorno una retta perpendicolare all'asse medesimo. Si ottiene il primo di questi movimenti spostando il bottone A (fig. 500), scorrevole in una scanellatura che abbraccia parzialmente il tubo, e unito rigidamente alla piastra metallica esterna a cui è fisso lo specchio M; e si ha il secondo, facendo rotare un bottone B collegato all' albero di una vite perpetua (fig. 501), che imbocca i denti di una piccola rota. Questi due movimenti possono essere prodotti in modo continuo e proporzionale allo spostamento apparente del sole, per mezzo di una ingegnosa macchinetta a sistema d'orologeria, detta *eliostato* dallo scopo a cui serve.

Per misurare coll'esperienza l'ingrandimento che corrisponde ad un microscopio solare, all' oggetto O si sostituisce una lastra di vetro su cui è incisa una divisione, per esempio, in centesimi di millimetro. Ottenuta così sullo schermo l'imagine della medesima divisione, si misura l'intervallo che in essa separa due tratti consecutivi; ed il rapporto fra questa distanza ed il valore che ha sulla lastra di vetro rappresenta l'ingrandimento del microscopio. Se nell'ipotesi fatta, l'intervallo suddetto fosse di otto o dieci centimetri, l'ingrandimento lineare sarebbe evidentemente di 8,000 ovvero 10,000 volte.

Con un buon microscopio solare si può mostrare ad un gran numero di spettatori l' esistenza di animaletti piccolissimi nell'aceto, nella polvere di formaggio, nelle acque stagnanti, ecc.; la formazione dei cristalli nell'atto che evapora l'acqua di una soluzione salina; ed anche la circolazione del sangue negli animali viventi. Difficilmente si può avere più grazioso spettacolo della cristallizzazione del sale ammoniaco, o del movimento del sangue nella membrana che unisce le dita della zampa di una ranocchia.

Microscopio a gas — e microscopio foto-elettrico. Non potendo o non volendo servirsi della luce del sole per illuminare l'oggetto nel microscopio poc'anzi descritto, si può surrogarvi la luce di Drummod, che già conoscete (304), o la luce elettrica, di cui parleremo nell'elettrologia; ed allora l'apparato prende il nome di *microscopio a gas,* ovvero di *microscopio foto-elettrico,*

a seconda che viene illuminato dall'una o dall'altra delle due luci menzionate. In questi casi il tubo del microscopio è fisso al foro D (fig. 502) di una scatola di legno, in cui trattandosi del microscopio a gas, è collocato un pezzo di calce C, dietro ad un tubo A che stringe i due condotti, non comunicanti fra loro, dell'ossigeno e dell'idrogeno.

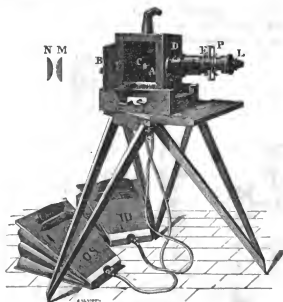



Fig. 502.

L'intenso calore onde sono accompagnate la luce solare, la luce di Drummod e la luce elettrica, fa nascere talvolta una difficoltà nell'uso degli strumenti indicati. Perocchè le lenti, concentrando sull'oggetto vivissima luce e per conseguenza anche molto calorico, lo scaldano a segno che possono abbruciarlo, fonderlo o farlo vaporizzare, ovvero produrre lo scoppio dei due vetri, che ordinariamente lo racchiudono. Per rimediare a questo inconveniente, in simili circostanze s'interpone, fra la lente E (fig. 501) e l'oggetto O, una lastrina d'allume od uno stratarello di una soluzione di questo corpo, chiuso fra due vetri, ovvero qualunque altra sostanza di quelle che, come vedremo più innanzi, sono capaci di trasmettere la luce, arrestando la maggior parte del calorico.

Apparato fotogenico di Soleil. Se l'esperienza non esige una luce straordinariamente intensa, alla luce di Drummod od alla elettrica, si può sostituire con vantaggio economico una lampada alla Carcel, collocandola, come fece per la prima volta Soleil, in una cassetta rettangolare, munita di un tubo laterale A (fig. 503), in cui è fermata una forte lente convessa, e di uno specchio concavo M, fisso alla parete opposta, dirimpetto alla lente. La posizione della lampada e le dimensioni della cassetta sono tali che i fuochi della lente e dello specchio coincidono nel centro della sorgente luminosa.

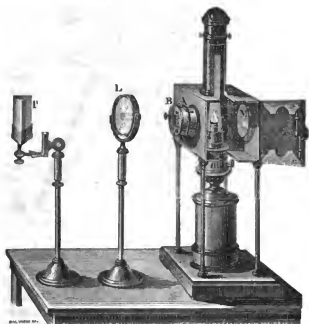



Fig. 503.

Con questo apparato si ottiene abbastanza di luce per eseguire un gran numero d'esperienze sulla dispersione e sulla polarizzazione cromatica. Nella figura l'apparecchio è rappresentato come dev'essere disposto quando vogliasi ottenere lo spettro. Ma desso può servire anche per fare qualche osservazione col microscopio solare.

SEZIONE TERZA

TERMOLOGIA.

525. **Termologia — suo oggetto e divisione.** La termologia è la parte di fisica nella quale si tratta del *calorico.* Ci pare naturale dividerla in tre capi, studiando separatamente l'origine, gli effetti e la propagazione del calorico.

526. **Calorico — calore.** La quotidiana esperienza ci avverte che fra i corpi calorifici, o riscaldanti, ed i corpi che vengono riscaldati corre spesso una distanza, la quale può essere grandissima, come è del caso in cui i corpi posti sulla superficie della terra sono riscaldati dai raggi solari. Ma chi non vede che l'azione del corpo caldo non si può comunicare all'altro, senza che esista un principio che la sorregga ed accompagni per quello spazio, ossia la trasmetti dal corpo riscaldante al riscaldato? Questo principio, qualunque esso sia in sè medesimo, si chiama *calorico,* mentre il suo effetto ossia l'impressione operata da esso sopra gli esseri capaci di sentirla dicesi *calore.*

Lo stato calorifico di un corpo, ossia il grado di calorico che il corpo manifesta, dicesi *temperatura* di esso; e gli strumenti, fondati sulla dilatabilità dei corpi (12), che servono a misurarla, diconsi *termometri.*

Sistema di emanazione — e di ondulazione. Anche sulla natura del calorico sonvi fra i fisici principalmente due opinioni. Alcuni lo considerano come una sostanza particolare, invisibile, imponderabile, mobilissima ed incoercibile, che emani dai corpi calorifici, trascorra lo spazio in linea retta con gran velocità, si rifletta parzialmente alla superficie dei corpi nei quali s'incontra, ed in parte penetri in essi e vi si fermi a riscaldarli. Questa sostanza, nel sistema che esponiamo, si combinerebbe poi coi corpi in proporzioni diverse. Altri invece suppongono che il corpo caldo sia dotato nelle sue particelle elementari di un minimo e velocissimo tremore o movimento oscillatorio, il quale da quella parte del corpo ove incominci si propaghi a tutte le parti rimanenti, da queste si comunichi ai corpi che sono in immediato contatto, ed alle superficie libere si trasmetta all'etere, che è il veicolo della luce. In questo sistema il calorico non sarebbe più una sostanza particolare, ma sarebbe un moto vibra-

torio della materia ponderabile, affatto simile alla luce, che si trasmette parimenti per mezzo della materia imponderabile. Entrambe le opinioni ebbero valentissimi sostenitori, ed entrambe poterono, fino ad un certo tempo, dare una completa spiegazione di tutti i fenomeni conosciuti. Oggidì però, avendo prevalso il sistema delle ondulazioni dell'etere relativamente alla luce per le felici esperienze di Fresnel ed Arago, ed essendosi scoperte nuove ed importanti analogie fra la propagazione del calorico e della luce, per opera specialmente del Melloni, si ama meglio attenersi alla seconda opinione. Noi però, che abbiamo posta per base dei nostri studj l'osservazione e l'esperienza, e procediamo sempre dai fatti più semplici e particolari all'investigazione delle leggi di un ordine superiore, possiamo tenerci dispensati dall'esporre e confrontare qui gli argomenti dell'una e dell'altra ipotesi, per abbracciare la seconda e rigettare la prima. Lo studio dei fenomeni del calorico e la ricerca esperimentale delle loro leggi ci persuaderà il sistema delle ondulazioni, senza impegnarci in una questione, che peraltro non potrebbe essere risolta completamente all'incominciare di un trattato. Avvertiamo però che se nello sviluppo di queste materie useremo qualche volta di un linguaggio che parrà mostrarci inclinati al sistema d'emanazione, ciò sarà solo per raggiungere la maggior chiarezza possibile.

CAPO PRIMO

SORGENTI DEL CALORICO.

527. **Quante e quali siano le sorgenti del calorico.** Il calorico, come la luce, si trasmette bene per mezzo della materia imponderabile, ma non può avere origine che nella materia ponderabile, sotto l'influenza di varie cause, che s'appellano *le sorgenti del calorico*. Queste possono essere divise in tre classi. La prima comprende le sorgenti dette *permanenti*, in quanto che comunicano continuamente calorico ai corpi circostanti. Tali sono il sole ed il globo terrestre, che posseggono un calore proprio, trasmesso lentamente dal loro interno agli strati superficiali ed ai corpi esterni. Alla seconda classe appartengono le sorgenti denominate *accidentali* od *artificiali*, che sono le azioni meccaniche, elettriche, e chimiche, le quali divengono, per così dire, momentaneamente causa di calore rispetto ai corpi circostanti. La terza classe, da ultimo, è quella delle sorgenti *fisiologiche;*

e queste sono gli animali ed anche certi vegetali, che durante la loro vita sviluppano calorico. Come ognuno può indovinare, non è qui possibile il trattare di tutte queste sorgenti di calorico. Lo studio del calor terrestre e quello delle sorgenti fisiologiche cade sotto il dominio della storia naturale; del calor solare parleremo in astronomia, e delle azioni elettriche ci occuperemo nella sezione seguente: ora pertanto non abbiamo ad esaminare che le azioni meccaniche e le azioni chimiche, e ciò lo faremo in due articoli.

ARTICOLO PRIMO

SORGENTI MECCANICHE DEL CALORICO.

528. **Mezzi meccanici di eccitare calorico.** Tutti sanno per esperienza che le azioni meccaniche, accompagnate da un cangiamento nell'equilibrio delle molecole dei corpi, producono calore o freddo. I mezzi meccanici principali che servono ad eccitare il calorico sono la *compressione*, la *percussione* e lo *sfregamento*.

529. **Compressione.** È notissimo che tutti i gas compressi sviluppano calorico; e fra loro l'aria e l'ossigeno, costipati nell'acciarino pneumatico (17) (fig. 504), accendono l'esca fissata

Fig. 504.

alla superficie inferiore dello stantuffo. Avendo cura di far l'esperimento nell'oscurità, si percepisce una splendida luce anche allora che lo stantuffo, privo d'esca, vien introdotto rapidamente nel tubo riempito d'ossigeno, d'aria, o di cloro. Si pensò da principio che questi gas fossero capaci di diventar luminosi sotto una forte compressione; ma Thénard provò all'evidenza che il loro splendore è dovuto alla combustione dell'unto di cui sono coperte le pareti del tubo pel passaggio dello stantuffo. Quando questo non sia rivestito d'alcuna materia grassa, ed in assenza

d'ogni materia combustibile havvi sviluppo di calorico, ma senza luce. Si ottiene il medesimo risultato, come facilmente si può prevedere, quando, essendovi pure nell'apparato materie capaci d'infiammarsi, il gas introdotto non intrattiene la combustione.

Dal fin qui detto chicchessia indovina cosa avverrebbe se invece di comprimere una massa gasosa, le si offrisse uno spazio in cui potesse espandersi: l'effetto sarebbe contrario, non più uno sviluppo di calorico, ma un raffreddamento. L'esperienza conferma questa previsione. Ponendo un termometro molto sensibile sotto la campana della macchina pneumatica, e praticando il vuoto, a misura che l'aria interna si rarefà, la temperatura di essa si abbassa, ed arriva alla depressione di nove o dieci gradi sotto la temperatura dei corpi esterni. In seguito, arrestando il movimento della macchina, la temperatura dell'aria della campana, ricevendo calorico dai corpi circostanti, si eleva, e raggiunge il limite primitivo. Se allora si lascia rientrare l'aria nel recipiente, si nota un elevamento di temperatura, giacchè l'aria introdotta per la prima viene compressa da quella che la segue. Questo fatto ha suggerito un'altra curiosa esperienza. Figuratevi tre termometri sensibilissimi disposti a diverse altezze nella campana della macchina pneumatica: l'uno sia collocato sul piano del recipiente, un altro ne occupi la parte più elevata, e l'ultimo si trovi press'a poco al mezzo dell'intervallo che separa i primi due. Quando, dopo d'aver praticato il vuoto nella campana, i termometri siano ritornati all'equilibrio di temperatura rispetto ai corpi che loro stanno d'intorno, si apra l'adito nel recipiente all'aria esterna. Allora il termometro posto all'orifizio non mostra alcuna modificazione di temperatura, il secondo indica un raffreddamento, e nell'atto stesso l'ultimo manifesta uno sviluppo di calorico. Per spiegare questa apparente contraddizione, basta riflettere che vicino all'orifizio l'aria non è ancora rarefatta e possiede la temperatura esterna; l'espansione è invece massima nello spazio medio della capacità, ove è situato il secondo termometro, mentre nel luogo occupato dall'ultimo le prime quantità d'aria penetrate nell'ambiente sono compresse da quelle che loro tengono dietro.

Un fenomeno della stessa specie di quelli che abbiamo descritti ci viene offerto dall'aria umida che sfugge, per un piccolo orifizio, dal recipiente ove sia compressa a tre o quattro atmosfere. Il raffreddamento del getto gasoso è tale che, quando s'imbatta per esempio in un pallone di vetro, vi si deposita in forma di uno strato sottile di ghiaccio. Da questo principio dipende la solidificazione dell'acido carbonico ottenuta per mezzo dell'ap-

parato di Thilorier (320). Anche i vapori che escono da una caldaja ad alta pressione, si condensano e si raffreddano al punto che introducendovi la mano, si ha una sensazione di freschezza.

Gay-Lussac ha scoperto esperimentalmente che tanto si eleva la temperatura di un gas sotto un determinato aumento di pressione, quanto si abbassa per una eguale rarefazione. Egli prese due palloni eguali di vetro: uno conteneva aria rarefatta, e l'altro era pieno d'aria condensata: li fece comunicare assieme per mezzo di un tubo, e dai termometri, collocati in essi, ebbe prova manifesta che il riscaldamento dell'aria nel primo recipiente era eguale al raffreddamento del medesimo gas nel secondo vaso. L'esperienza riesce meglio se, come fece Joule, in un globo si condensi l'aria fino a 20 o 22 atmosfere, e nell'altro si spinga la rarefazione al limite massimo, che si può raggiungere in pratica; e poi si collochino ambedue in un terzo recipiente pieno d'acqua, di cui si possa osservare la temperatura con tutta l'esattezza. Ognuno prevede che quando si stabilisca la comunicazione fra le capacità dei due palloni, la pressione si riduce in ciascuno a 10 atmosfere; ma ciò che è importante d'avvertire si è che la temperatura dell'acqua circostante non annunzia cangiamento alcuno, laddove è molto notabile la variazione se uno solo dei due globi è immerso nell'acqua.

Non è da tacere per altro che la esposta legge di Gay-Lussac in pratica di rado si verifica esattamente; giacchè si trova che l'abbassamento di temperatura, prodotto dalla rarefazione di un gas, è d'ordinario minore del riscaldamento, che si osserva per una eguale condensazione del corpo medesimo. Ma la ragione di questa differenza non può sfuggire a chi osservi che, sebbene la quantità di calorico sviluppata o sottratta venga modificata tanto nella condensazione quanto nella rarefazione pel calorico tolto o ceduto dalle pareti del corpo di tromba, che ordinariamente si adopera in questi casi, pure il compenso nei due fenomeni non è esatto. Chi non vede di fatti che ritirando lo stantuffo aumenta la superficie di contatto del gas colle pareti del recipiente, e quindi la quantità di calorico estraneamente comunicata, in questo caso, è maggiore di quella allo stesso modo levata nella compressione? Se non dimenticherete questa riflessione vi sarà facile conciliare la legge di Gay-Lussac coi risultati delle esperienze di Fabre e Silbermann, quali vi sono offerti dalla tavola seguente. Scorrendo questa tavola, potrete facilmente accorgervi che il divario fra l'effetto della condensazione e quello della rarefazione è eziandio diverso pei differenti

gas. Ciò non è che una conseguenza naturalissima della diversa attitudine dei medesimi gas a trasmettere il calorico.

Nome del gas		Valore del riscaldamento o del raffreddamento				
		fra $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$ atmosf.	fra $\frac{1}{2}$ e 1 atmosf.	fra 1 e 2 atmosf.	fra $\frac{1}{2}$ e 2 atmosf.	fra $\frac{1}{4}$ e 2 atmosf.
Idrogeno	C.	+ 9°,7	13°,8	18°,5	32°,3	42°,0
	D.	— 5,0	8,5	13,7	22,2	27.2
Aria	C.	+ 5,6	8,8	13,2	22.0	27,6
	D.	— 5,0	7,6	12,8	20,4	25,4
Ossigeno	C.	+ 5,6	9,3	13,2	22,5	28,1
	D.	— 4,7	7,6	13,2	20,8	25,5
Ossido di carbonio	C.	+ 5,6	8,6	12,6	21,2	26,8
	D.	— 5,0	7,3	12,6	19,9	24,8
Protossido d'azoto	C.	+ 4,7	6,6	11,0	17,6	22,3
	D.	— 4,8	6,6	11,3	17,9	22,7
Acido carbonico	C.	+ 4,7	7,3	11,3	18,6	23,3
	D.	— 4,7	7,3	11,3	18,6	23,3

L'accensione dell'idrogeno che si condensa nel platino spugnoso (304) si deve attribuire al calorico sviluppato nella condensazione di quel gas nei pori di questo metallo. Dalle esperienze di Dulong e Thénard risulta che: 1.° Il palladio, il rodio e l'iridio possono essere surrogati al platino. 2.° L'osmio manifesta la medesima proprietà a 45°; l'oro a 120°; il carbone, il vetro, la pietra pomice e la porcellana la acquistano ad una temperatura non inferiore ai 250°. 3.° Tutti questi corpi divengono incapaci di produrre il fenomeno indicato, se si lasciano esposti all'aria per un tempo troppo lungo; ma si può ridonare loro l'attitudine primitiva, sottoponendoli alla calcinazione.

Fin qui abbiam sempre tacitamente supposto che i corpi dei quali parlavamo fossero aeriformi. Ma anche i liquidi ed i solidi si riscaldano nella compressione. È ben vero che essendo questi meno compressibili di quelli, è molto minore anche la quantità di calorico che sviluppano nell'atto medesimo. Tuttavia, essendo manifesto che l'effetto è costantemente proporzionale alla causa, ognuno comprende che a confermare il principio esposto non importa di attendere ai limiti sibbene all'esistenza del fenomeno. Quanto ai liquidi, siamo debitori a Colladon e

Sturn di una serie di esattissime esperienze fatte sull'acqua, sull'alcool, e sull'etere solforico, dalle quali appare chiaramente che questi liquidi compressi sviluppano calorico. L'apparato che servì agli illustri esperimentatori è analogo al piezometro già da noi descritto (16); e il punto più elevato a cui essi spinsero la pressione del liquido sottoposto all'esperimento fu di 40 atmosfere. Maggiore che nei liquidi è il calorico che si desta nei metalli, nei legni e negli altri corpi solidi, quando vengono compressi. L'esperienza si fa stringendo questi corpi fra i due piatti di un piccolo torchio idraulico, mentre un termometro introdotto in un foro del corpo cimentato, mostra l'aumento di temperatura. Del resto qui non occorre di citare molti fatti per provare quello che si afferma; giacchè ognuno può averne argomenti. Per esempio, avrete più volte osservato che una spranga metallica sottomessa ad un carico capace di romperla, ordinariamente dapprima si piega, ed in questo medesimo punto si scalda. I corpi che subiscono l'operazione del laminatojo divengono caldissimi.

550. **Percussione.** La percussione, non essendo altro che una compressione istantanea, è per conseguenza essa pure fonte di calorico. In ogni urto di peso che cade si produce calorico, e tutti sanno come sotto i magli delle ferriere il ferro si mantiene rovente assai più a lungo che all'aria libera. Un chiodo di ferro battuto sull'incudine viene a scaldarsi tanto da potervisi accendere l'esca. Una sbarra di piombo sottomessa alla medesima prova finisce col fondersi. Le piastre delle navi corazzate colpite da una palla dei moderni cannoni diventano infocate; ed in generale tutti i metalli colla percussione si riscaldano. È importante per altro di sapere che in questo fenomeno il riscaldamento dei metalli generalmente è tanto maggiore quanto più grande è la condensazione o la riduzione permanente del loro volume. Berthollet, Biot, e Pictet osservarono che l'oro, l'argento, ed il rame, battuti in un torchio da zecca, al primo colpo sviluppano molto calorico, meno al secondo, ed una quantità ancora minore al terzo. Infine quando questi metalli sono incruditi in guisa che le loro molecole non possano più avvicinarsi in un modo permanente, i colpi più violenti non producono il minimo elevamento di temperatura. A tal punto cedono essi bensì sotto al colpo, ma ritornano subito dopo al volume primitivo, sicchè essendo eguali il calorico che si eccita nella compressione istantanea e quello che viene assorbito nella espansione che vi tien dietro, la temperatura rimane inalterata. Mayer ed Helmholtz hanno calcolato che quando la terra avesse da ces-

sare di moversi attorno al sole, l'urto che essa soffrirebbe cadendo in questo desterebbe tanto calorico quanto se ne sviluppa per la combustione di un volume di carbone eguale a 1600 volte il volume della terra.

È quasi inutile osservare che i liquidi e gli aeriformi ci offrono fenomeni analoghi. Chi non sa, per esempio, che l'acqua e gli altri liquidi fatti cadere da una certa altezza si scaldano? Nè ci vuol molto per ottenere un riscaldamento sensibile col travasare più volte del mercurio da uno ad un altro recipiente. In quanto ai gas basti notare che il riscaldamento di un cannone per la scarica più che alla combustione della polvere si deve attribuire all'urto dei gas che si sviluppano ed all'aria che, dopo d'esser stata espulsa, impetuosamente rientra nel cannone.

531. **Sfregamento dei solidi**. Lo sfregamento od attrito si risolve in due altre azioni meccaniche, la compressione cioè ed il moto vibratorio delle molecole sfregantisi, epperò anch'esso per ambedue queste azioni sviluppa calorico. Ne abbiamo esempj nel venir limato il ferro da ferraj, nel girare delle rote intorno ai loro assi, nello sfregarsi fortemente una mano su di un pezzo di panno, nel semplice strofinare una mano coll'altra. Davy trovò che strofinando insieme due pezzi di ghiaccio, mentre la temperatura dell'aria è al dissotto del punto di congelazione, essi si riscaldano, e nel luogo dello sfregamento arrivano a fondersi. Con questo medesimo mezzo i legni si accendono: di che alcuni popoli si approfittano per procacciarsi il fuoco, girando con forza un legno puntato entro ad un foro, praticato in un altro pezzo di legno. A questa causa attribuiscono alcuni gli incendj fortuiti che talora sono avvenuti nelle foreste, supponendo che il vento abbia violentemente agitati l'uno contro l'altro i rami degli alberi e li abbia scaldati ed accesi.

Per lieve attrito il fosforo ed altre sostanze si accendono. Una lega metallica di due parti d'antimonio con una di ferro, venendo limata, manda vive scintille infocate. Si appoggia a questo l'uso di trar fuoco dall'acciarino. La pietra focaja battuta e sfregata con forza dall'acciajo ne raschia delle particelle, e loro comunica tanto calorico di fonderle, o in contatto coll'aria da farle abbruciare. Per una simile ragione i ferri dei cavalli, calpestando il suolo, sogliono dare scintille: si ha qui, come nel caso precedente, uno sfregamento insieme con percussione. Rumfort, avendo rivolto colla bocca verso l'alto un cannone di bronzo, lo riempì d'acqua, e poscia il fe' trapanare sul fondo, tenendo premuto il trapano con molta forza: il calorico, eccitato dallo

sfregamento dell'ago d'acciajo temperato contro il fondo, fu tale che in capo a due ore l'acqua giunse a bollire.

Un'altra facile esperienza ideò Tyndall per dimostrare la stessa cosa, e fu questa. In un cilindro di rame si versa dell'acqua, indi alla superficie di essa si applicano due pezzi di legni cavi, e si chiude il vaso con un turacciolo di sughero. Allora si fa girare velocemente l'apparato attorno l'asse, e dallo sfregamento dei due pezzi di legno contro il metallo si ottiene uno sviluppo di calorico tale che basta a far bollire l'acqua; e la forza del vapore caccia via con impeto il turacciolo.

Circostanze che fanno variare la quantità di calorico sviluppato per sfregamento. Domanderete adesso quali siano le circostanze che modificano la quantità di calorico prodotto dallo sfregamento? La risposta s'indovina facilmente: sono quelle stesse che influiscono nello sfregamento, o dipendono dalla diversa attitudine dei corpi a riscaldarsi, cioè: 1.° la natura e lo stato delle superficie sfregate; 2.° la pressione; e 3.° la velocità colla quale si eseguisce l'operazione.

Stropicciando diverse sostanze con uno stesso pezzo di legno si è osservato che il piombo si scalda più dello stagno, questo più del ferro, ed il sughero meno del vetro, della gomma elastica, dell'argento e degli altri metalli in generale. Il rapporto fra il calorico che si desta nel vetro e nel sughero, quando si stropicciano assieme, si è trovato essere di 34 a 5, e se il vetro è smerigliato di 40 a 7. Coll'argento e col sughero questo rapporto è di 50 a 12, e colla gomma elastica ed il sughero di 79 ad 11. Pictet facendo rotare intorno al centro, con grandissima velocità, un disco d'ottone, contro cui applicava diverse materie, potè constatare che il riscaldamento variava colle sostanze cimentate, tanto nell'aria che nel vuoto. Egli ottenne la massima temperatura quando il corpo stropicciante era lo zinco. Se i due corpi sfregati assieme sono della stessa natura, il riscaldamento può ancora differire da quello dell'altro, a seconda dello stato delle loro superficie. Di due dischi di vetro, a superficie diversamente lavorate, lo scabro acquista una quantità di calorico, che è circa il doppio di quella che riscalda l'altro corpo levigato. Se ai corpi che insieme si soffregano si frappone un qualche liquido, sego od altra specie di grasso, cessa quasi affatto lo sviluppo del calorico; l'uso perciò di ungere di sostanze grasse gli assi delle rote, non solo ne facilita i movimenti, e li conserva dal logoramento, ma li difende eziandio da quei danni ai quali un forte calore li esporrebbe.

Sarà facile ora comprendere il modo con cui l'attrito sviluppa

calorico. Quando due superficie si premono tra loro, le asprezze dell' una s' introducono in quelle dell' altra, sicchè volendo farle scorrere, ne nasce una resistenza tanto più grande quanto più le asprezze medesime sono pronunciate, e la pressione è più forte. Onde l'una scivoli sull'altra, è necessario che le parti che s'intoppano s'abbiano a separare; e ciò non può avvenire senza uno scuotimento degli strati superficiali, che dà origine a quel moto vibratorio in cui consiste il calorico.

Secondo questa spiegazione è evidente che la quantità di calorico sviluppato, a parità delle altre circostanze, è proporzionale all'attrito od alle scabrezze delle superficie. Ma si può anche dare il caso in cui si sviluppi calorico senza il contatto delle due superficie, e solo per l'opposizione dell' una al movimento dell' altra, esercitata per via singolare. È famoso a questo proposito l'esperimento di Foucault, e consiste nel far rotare un disco di rame fra i due poli di una potente calamita posti a piccola distanza. Per ottenere il movimento di questo disco si esige una forza considerevole, ma nell'atto medesimo esso si riscalda fino a riescire insopportabile alla mano.

Sfregamento dei fluidi. Per non lasciare incompiuta la questione sull'origine del calorico nelle azioni meccaniche, aggiungiamo qualche cosa in ordine allo sfregamento dei fluidi. Ognuno s'accorge che l'acqua scorrendo lungo la superficie di un solido deve pure sviluppare una certa quantità di calorico; ma nel tempo stesso avverte che dessa è troppo tenue per essere computata coi mezzi esperimentali che la scienza possiede attualmente: il liquido si rinnovella ad ogni istante, e non permette che la temperatura si elevi ad un punto sensibile. Ioule seppe disporre l'esperienza in modo che, senza variare le circostanze essenziali del fenomeno, la massa liquida sottomessa all' azione meccanica fosse determinata e costante. Egli fece rotare, con grandissima velocità, in un vaso pieno d'acqua, un'asta verticale munita alla sua parte inferiore di alcune palette, perpendicolari all'asse ed aventi le più grandi superficie in piani verticali, sicchè colle stesse percuotessero la massa liquida. Alla fine di qualche tempo la temperatura dell'acqua si elevò di 0°,202. Somiglianti esperienze furono fatte sul mercurio, ed il riscaldamento ottenuto arrivò a 2°,54.

Le acque in moto gelano meno facilmente delle stagnanti; ed i marinai sanno per esperienza che il mare è più caldo dopo una tempesta. Gli aeriformi si scaldano allo stesso modo per sfregamento, sebbene fra limiti molti ristretti, essendo debolis-

simo lo scuotimento che per questa via si può loro imprimere. Il passaggio di un corpo attraverso l'aria è accompagnato da uno sviluppo di calorico, che varia a seconda della sua velocità e della sua superficie. Così la palla lanciata da un cannone tanto più si scalda quanto più si allontana da esso.

332. **Applicazioni**. Conosciuto una volta il principio che le azioni meccaniche possono destare una notevole quantità di calorico, era naturale che l'ingegno umano tentasse la via di applicarlo all'industria. Rumfort, dopo d'aver descritta l'esperienza che abbiamo poc'anzi citata, manifesta l'idea di servirsi del calorico sviluppato per sfregamento a cuocere gli alimenti; ma soggiunge che ciò non avrà un vantaggio economico. Pictet fa osservare in seguito che si potrà ottenere anche un tale vantaggio, quando si abbia da produrre lo sfregamento per mezzo di una caduta d'acqua o della forza del vento. Ma a Beaumont e Mayer era riservata la gloria dell'invenzione di un apparato, ch'essi chiamarono *termogeneratore*, destinato a trasformare la forza motrice in calorico. Questa macchina è semplicissima: consiste in una caldaja cilindrica di lamiere di ferro, lunga due metri circa, attraversata da un tubo di rame leggermente conico, che è fisso per le sue estremità alle basi della caldaja. Un cono di legno, rivestito da una treccia di canape, si adatta internamente a questo tubo, ed è capace di ricevere un rapido movimento di rotazione sopra sè stesso, in modo indipendente dalle altre parti. Riempita d'acqua la caldaja, quando s'imprima al cono interno una velocità di 400 giri al minuto, dopo un'ora o due, la massa liquida può raggiungere la temperatura di 130°, ed in seguito produrre del vapore ad una tensione di due atmosfere e mezza. La capacità della caldaja è di circa 400 litri; e le superficie che si sfregano sono in modo continuo lubrificate da una tenue corrente d'olio, onde non si consumino in brevissimo tempo; ma, ad onta di questo, la quantità di calorico sviluppato non sembra molto diminuita.

333. **Relazioni fra il calorico ed il lavoro meccanico**. Tutti i fenomeni descritti furono diligentemente studiati dai fisici, ed a spiegarne le particolarità sono bisognate sottilissime indagini matematiche. Qui basti dire che la bella conseguenza ch'essi vi dedussero, e che stabilirono come principio da cui i fenomeni stessi dipendono, fu che il lavoro meccanico si trasforma in calorico. Più innanzi ci intratteremo sulle applicazioni e sulla importanza di questo lemma.

Ora possiamo, per dir così, capovolgere la questione, e domandare se allo stesso modo il calorico possa essere mutato in

lavoro meccanico? I fisici moderni, con nobile compiacenza, ci danno concordemente una risposta affermativa. Quando un corpo si raffredda, il calorico viene comunicato ad altri corpi, oppure si trasforma in un movimento di traslazione. Così, per esempio, il calorico che scompare nell'atto in cui una massa gasosa si espande a poco a poco nellò spazio che le viene esibito, si trasforma nel lavoro esercitato dal gas per lanciare le proprie molecole nella nuova capacità. Per renderci famigliare questa idea applichiamola all'esempio delle macchine a vapore. Imaginiamoci una macchina a vapore messa in moto uniforme, e supponiamo di poter esplorare la temperatura della massa aeriforme al momento in cui entra e quando esce dalla macchina. Facciamo anche l'ipotesi che i corpi circostanti al vapore, o quelli coi quali viene a contatto, non gli sottraggano nè gli diano la minima quantità di calorico. È chiaro che se il vapore, muovendo lo stantuffo della macchina, non soffre alcuna perdita di calorico, esso potrà servire a riscaldare altri corpi come avrebbe fatto appena uscito dalla caldaja, oppure, passato dalla prima macchina, potrà essere introdotto in una seconda, in una terza, e così via discorrendo. Nel primo caso, oltre il riscaldamento, si avrebbe per soprappiù l'effetto meccanico, senza spesa di combustibile, o in altri termini si avrebbe un effetto senza la causa; e nel secondo si otterrebbe un moto indefinito e veramente perpetuo, giacchè il movimento della macchina potrebbe produrre, per attrito o per qualunque altra via meccanica, tanto calorico quanto se ne disperde effettivamente per raggiamento e per contatto. Negare che il calorico si trasformi in lavoro meccanico sarebbe dunque cadere nell'uno o nell'altro di questi due assurdi. Ma abbiamo eziandio fatti decisivi da arrecare in prova dell'assunto. Ioule, avendo fatta passare una massa d'aria compressa a 22 atmosfere, sotto una campana piena d'acqua, mentre dallo spostamento del liquido ebbe indizio certo dell'espansione, e quindi del lavoro meccanico operato dal gas, constatò che nell'atto stesso una certa quantità di calorico era scomparsa.

Allo stesso modo Hirn dalle sue esperienze conchiuse che se in una macchina a vapore, la massa gasiforme passa dalla caldaja al cilindro, senza che possa muovere lo stantuffo, uscendo da quello restituisce tutto il calorico che gli venne comunicato per riscaldarla; ed invece se dessa, come avviene ordinariamente, entrata nel cilindro, muove lo stantuffo ed eseguisce un lavoro, perde evidentemente una notabile quantità del suo calorico. Il fatto poi che gli animali, sotto l'aspetto termico, si possono considerare come vere macchine calorifiche suggerì ad Hirn un altro

genere di curiose esperienze sopra sè stesso e sopra altri suoi simili. È tra le cose più note di storia naturale che gli animali nella respirazione consumano una porzione di ossigeno, e producono calorico, sempre in proporzione alla rapidità dell'atto stesso. Epperò quando ci affatichiamo, la nostra respirazione si accelera, onde consumiamo una maggiore quantità di ossigeno, e quindi aumenta anche il calorico prodotto nel nostro interno. Tuttavia dalle delicatissime osservazioni d' Hirn risulta che il calorico acquistato dal nostro corpo in tale circostanza è molto minore di quello che corrisponde alla attivata respirazione. È dunque molto probabile che una parte del movimento termico del nostro corpo siasi trasformato nel lavoro esternamente compito.

Un'altra singolare esperienza fatta da Regnault al medesimo intento, è quella di introdurre una massa gasosa, scaldata a 100° nel passaggio di un serpentino, in un vaso circondato da una nota quantità d'acqua a 0°. Già s'intende da sè che la temperatura di quest'acqua nell'esperimento deve elevarsi di parecchi gradi; ma un siffatto riscaldamento non è proporzionale al calorico perduto dal gas, e lo strano si è che, mentre l'acqua si scalda per lo stesso numero di gradi quando la pressione del gas è 1 o 10 atmosfere, essa si scalda di più se il gas, arrivando nel vaso interno sotto la pressione di 10 atmosfere, qui si dilata in modo da uscire sotto la pressione di un'atmosfera. Questo confermi il principio della trasformazione del calorico in lavoro meccanico; e vi suggerisca inoltre questa nuova idea che in pratica è cosa molto difficile il dedurre conseguenze certe dai cangiamenti di elasticità dei gas, accompagnati da un lavoro interno che la scienza finora non sa apprezzare con esattezza; giacchè il risultato finale dipende dalla maniera nella quale avvengono simili modificazioni, e dall'ordine secondo cui le medesime si succedono.

534. **Circostanze generali che possono modificare la quantità di calorico sviluppata o scambiata in un fenomeno.** Onde avere un'idea esatta delle relazioni che esistono fra il lavoro meccanico ed il calorico, rimane a sapersi in qual proporzione l'uno si trasformi nell'altro. Ma perchè una tale cosa, che si deve dire fondamentale, non vi riesca confusa, gioverà premettere alcune nozioni circa le circostanze generali che possono modificare la quantità di calorico sviluppata o scambiata dai corpi che intervengono nella produzione di un fenomeno.

Per poco che esaminiate il fin qui detto, vedrete che il calorico acquistato dai corpi cimentati in una esperienza, astrazion fatta da tutte le cause esterne capaci di accrescerlo o diminuirlo,

produce in essi un lavoro ovvero eleva la loro temperatura; e viceversa che i corpi medesimi non danno calorico che per mezzo di un lavoro o soffrendo un abbassamento di temperatura.

Lavoro interno — esterno. Quanto al lavoro causa od effetto del calorico, avvertiamo che desso può essere interno od esterno al corpo che ne è il soggetto. Un gas che chiuso in un cilindro si dilata e solleva uno stantuffo pesante, ci offre un esempio d'ambedue questi lavori: l'esterno è l'inalzamento del peso, e l'interno è l'espansione della massa gasosa. Simili a quest'ultimo lavoro sono tutti i cangiamenti di composizione, di volume, e di stato, ai quali i corpi possono soggiacere, per effetto o con sviluppo di calorico, come vedremo.

Caloricità specifica — calorico specifico dei corpi — e caloria. Circa il calorico che serve ad elevare la temperatura di uno o più corpi, ovvero viene da essi ceduto con abbassamento della loro temperatura, abbiamo a fare alcune importanti osservazioni.

Innanzi tutto ci pare appena necessario d'avvertire che l'esperienza conferma quanto si può a prima giunta indovinare col raziocinio, che per accrescere di uno stesso numero di gradi la temperatura di due o più corpi omogenei, si richieggono quantità di calorico proporzionali alle loro masse. Per conseguenza, chiamando t e t' le temperature di due masse omogenee m ed m', e T la temperatura della loro mescolanza, si ha $m : m' = T - t' : t - T$; da cui si ottiene l'espressione $T = \frac{mt + m't'}{m + m'}$, conosciuta sotto il nome di *legge di Richmann.*

Ma se i corpi che si vogliono scaldare egualmente sono eterogenei, le quantità di calorico che si debbono per ciò impiegare non sono più, generalmente, proporzionali alle masse. Questo fatto si esprime dicendo *che le diverse sostanze hanno diversa capacità pel calorico*, ossia *sono dotate di una caloricità caratteristica o specifica.* Così la stessa quantità di calorico che scalda di 1° centigrado un chilogrammo d'acqua, eleva di 9° la temperatura di un chilogrammo di ferro; talchè mescolando masse eguali di acqua a 10° e di ferro a 0°, si ottiene un tutto a 9°, e l'acqua, perdendo un grado solo di calorico, ne comunica 9° al ferro. Se invece delle masse, si prendono eguali i volumi, si manifesta ancora una differenza. Non cambiando esempio, si trova che un decimetro cubo di acqua per scaldarsi da 0° ad 1° esige più calorico che un decimetro cubo di ferro. Non si creda però che i corpi i quali manifestano maggiore capacità pel calorico nel primo caso, l'abbiano sempre maggiore anche nel secondo:

ciò sarebbe un errore. Lo solfo, per esempio, a massa eguale richiede più calorico del ferro per scaldarsi allo stesso punto, mentre a volume eguale bisogna darne più al ferro che allo solfo. Questa diversa attitudine dei corpi ad esigere, per eguali masse o volumi, più o meno calorico onde scaldarsi egualmente, chiamasi *capacità pel calorico a peso od a volume*, secondo che si considerano eguali le masse od i volumi; e le quantità relative di calorico richieste per alzare alla stessa temperatura due corpi a masse o volumi eguali si chiamano i loro *calorici specifici a peso od a volume*. Avvertiamo peraltro che quando si dice capacità pel calorico o calorico specifico, senz'altro aggiunto, s'intende sempre la capacità ed il calorico specifico a masse eguali.

Il calorico specifico dell'acqua viene assunto per unità di misura dei calorici specifici degli altri corpi. Quindi si dice che il calorico specifico di un corpo è il rapporto fra la quantità di calorico necessaria per elevare da 0° ad 1° C. la temperatura del corpo stesso, e quella che serve a scaldare allo stesso modo un peso od un volume eguale di acqua distillata. La quantità di calorico che alza da 0° ad 1° centigrado la temperatura di un chilogrammo d'acqua distillata si denomina una *caloria*.

Per unità di misura del calorico specifico dei gas qualche volta si prende il calorico specifico a volume dell'aria; ed allora esso è la quantità di calorico che bisogna dare ad un volume determinato del gas per scaldarlo da 0° ad 1° C., comparativamente a quello che per lo stesso intento fa d'uopo somministrare ad un eguale volume di aria. In questo caso si può supporre che i gas sieno a pressione costante ed a volume variabile, ovvero a volume costante e sotto una pressione variabile. Nelle tavole, che esporremo più innanzi, ci atteniamo per tutti i corpi alla prima unità di misura.

Le leggi sui calorici specifici dei corpi sono della più grande importanza, e presto ci accorgeremo delle inattese conseguenze che possono scaturire da queste notizie. Non sarà dunque inopportuno l'intrattenervi per poco tempo circa questo argomento.

535. **Variazioni dei calorici specifici dei corpi**. Innanzi tutto può nascere il desiderio di sapere se il calorico specifico di un corpo sia una quantità assolutamente invariabile, ovvero dipenda dalle condizioni speciali nelle quali si trova la sostanza al momento dell'osservazione. Molte esperienze vennero imaginate all'intento di risolvere questo problema, ed ormai è da tutti ammesso che il calorico specifico di un corpo ordinariamente varia colla densità, colla temperatura, e collo stato.

Influenza della densità. Incominciando dall'esaminare l'influenza della densità, notiamo che in quanto ai solidi, in generale, può stabilirsi questa massima che quanto aumenta la densità e la contrazione di un corpo ne diminuisce la capacità pel calorico. La caloricità specifica del colcothar decresce a misura che la calcinazione ne unisce le molecole in modo più stretto; ed il rame sottoposto all'azione del martello acquista la capacità 0,09360, mentre prima ne aveva un'altra maggiore, cioè 0,09501. Il carbonato di calce, il solfo e sopratutto il carbone mostrano capacità differentissime secondo il loro stato fisico, come appare dalla tavola seguente.

Carbonato di calce	Solfo	Carbone
Aragonite . . . 0,2085	Fuso recentem. 0,1844	Nero d'animale 0,2608
Spato d'Islanda 0,2085	Fuso da due mesi 0,1803	Carbone di legna 0,2415
Creta 0,2148	Fuso da due anni 0,1764	Coke, antrac. . 0,2008
Marmo bianco (saccaroide). . 0,2158	Cristallino naturale. 0,1776	Grafite. 0,2018
		Diamante . . . 0,1468

Nei liquidi i cangiamenti di densità non hanno alcuna influenza sulla caloricità specifica, e non potrebbero neppure averla, giacchè simili cangiamenti in questi corpi sono sempre piccolissimi. Delaroche e Berard spinsero le loro ricerche sui gas, e credettero che il calorico specifico di tali corpi variasse colla pressione. Ma Regnault mostrò che il risultato ottenuto dai due fisici menzionati era falso, per non aver essi saputo eliminare nelle esperienze le cause straniere, e diede le più belle prove della proposizione contraria, che cioè il calorico specifico degli aeriformi è indipendente dalla pressione che sopportano.

Influenza della temperatura. Diciamo ora qualche cosa di un'altra circostanza, che non bisogna dimenticare quando si tratta di stabilire il calorico specifico di un corpo, cioè della temperatura. Dulong e Petit provarono che la caloricità specifica dei corpi solidi aumenta colla temperatura, partendo da 100°. Ecco i risultati ottenuti da quei due diligenti esperimentatori.

Nome delle sostanze cimentate	Capacità medie	
	Fra 0° e 100°	Fra 0° e 300°
Ferro.	0,1098	0,1218
Mercurio	0,0330	0,0350
Zinco	0,0927	0,1015
Antimonio	0,0507	0,0549
Argento	0,0557	0,0611
Rame.	0,0949	0,1013
Platino	0,0355	0,0355
Vetro.	0,1770	0,1990

È per altro da sapersi che i corpi tanto più aumentano di capacità pel calorico, quanto più si avvicinano alla loro temperatura di fusione. Cosicchè, mentre il platino non manifesta che un piccolo accrescimento di caloricità specifica anche sottomesso a temperature elevate, invece il calorico specifico del piombo fra — 77° e 10° è 0,03065, e fra 10° e 100° è espresso da 0,0313; ed il fosforo mostra le seguenti variazioni nella sua capacità pel calorico: fra — 77° e 10° è 0,1740°; fra — 21° e 70° è 0,1788; e fra — 10° e 30° è 0,1887. Siam così tratti a conchiudere che il calorico specifico dei solidi è sensibilmente costante a temperature lontane dal loro punto di fusione; e cresce quand'essi vi si avvicinano.

Nei liquidi le variazioni di caloricità colla temperatura sono ancora più pronunciate, e si manifestano anche sotto 0°. Ne potete avere una conferma dalla seguente tavola di Regnault.

Nome del liquido	Capacità medie		
	Da 20° a 15°	Da 15° a 10°	Da 10° a 5°
Mercurio	0,0290	0,0283	0,0282
Alcool a 36°.	0,6725	0,6651	0,6588
Acido acetico cristallizzato . . .	0,4618	0,4599	0,4587
Terebeno	0,4267	0,4156	0,4154
Essenza di citrone.	0,4501	0,4424	0,4489
Cloruro di titanio.	0,1828	0,1802	0,1810
Cloruro di solfo	0,2038	0,2024	0,2048
Solfuro di carbone	0,2206	0,2183	0,2179
Etere solforico.	0,5157	0,5158	0,5207
Spirito di legno	0,6009	0,5868	0,5901

Ma il liquido che da Regnault venne studiato con particolare diligenza fu l'acqua, ed eccone i risultati ottenuti.

Temperatura	Calorico specifico	Temperatura	Calorico specifico
Da 0° a 40°	1,0013	Da 0° a 160°	1,0109
Da 0° a 80°	1,0035	Da 0° a 200°	1,0160
Da 0° a 120°	1,0067	Da 0° a 250°	1,0204

Lo stesso Regnault ha fatto molte esperienze anche sul calorico specifico dei gas, e la conseguenza alla quale pervenne è questa: elevando la temperatura, i gas che seguono la legge di Mariotte (169 — e 170) non mostrano cambiamento nella loro caloricità specifica, ed invece gli altri, che si sottraggono a quella legge, colla temperatura aumentano di capacità pel calorico.

Influenza dello stato. Ci rimane a sapere quale influenza abbiano i cangiamenti di stato sul calorico specifico dei corpi. Un corpo solido ha pel calorico una capacità minore di quella che manifesta allo stato liquido, e divenendo aeriforme riacquista la caloricità specifica di cui era fornito allo stato solido.

536. **Leggi dei calorici specifici dei corpi semplici.** Dalla considerazione delle cause fisiche che modificano il calorico specifico di un corpo si passa naturalmente a parlare della relazione fra questo carattere dei corpi e il peso dei loro atomi. Dulong e Petit, avendo misurato il calorico specifico di tredici corpi semplici, hanno scoperta una delle più belle leggi di fisica, cioè che *gli atomi di tutti i corpi semplici posseggono eguale capacità pel calorico.* Rappresentiamo con C il calorico specifico d'un corpo, con n il numero degli atomi contenuti nell'unità di massa, e con c il calorico specifico di un atomo; è chiaro che sarà $\frac{C}{n} = c$. Se diciamo p il peso di un atomo del corpo, sarà $p = \frac{1}{n}$. Per conseguenza avremo $p.\ C = c$; cioè il calorico specifico di un atomo è eguale al calorico specifico della sostanza moltiplicato pel peso atomico di essa. Epperò Dulong e Petit, sostituendo a p il valore corrispondente alla sostanza cimentata (289) ed a C il risultato della loro esperienza, trovarono che c aveva un valore presso a poco costante, ed eguale a 3,13 circa. Apparisce di qui che la legge menzionata si può anche annunciare dicendo che — *i calorici specifici dei corpi semplici sono in ragione inversa dei loro pesi atomici.*

Ma, come ognuno s'accorge, le esperienze di Dulong e Petit si estendevano ad un numero di corpi troppo piccolo per stabilire questa legge. La tavola seguente contiene i principali risultati di novelle esperienze fatte dal sagacissimo Regnault.

Nome del corpo	Equivalente chimico p	Calorico specifico a peso C	Prodotto $C \times p$	Calorico specifico a volume C'
		CORPI SOLIDI.		
Potassio	39,1	0,165	3,22 × 2	0,143
Sodio	23,0	0.293	3,32 × 2	0,285
*Iodio	127,0	0,0541	3,43 × 2	0,267
Tellurio	64	0,0474	3.06	0,286
Bismuto	210	0,0308	3,23 × 2	0,303
Fosforo	31	0,188	2,93 × 2	0,333
Antimonio	129	0,0508	3,09 × 2	0,340
Selenio	40	0,0762	3.03	0,343
Piombo	103,5	0,0314	3,25	0,357
Solfo	16	0,177	3,25	0,359
Stagno	59	0,0562	3,26	0,415
Magnesio	12	0,250	3,00	0,435
*Silicio	21	0,176	3,70	0,438
Arsenico	75	0,0814	3,05 × 2	0,440
Cadmio	56	0,0567	3,17	0,487
Diamante	6	0,147	3,13 : 2	0,519
Alluminio	13,7	0,216	2.97	0,556
Litio	7	0,941	3,06 × 2	0,559
Molibdeno	46	0,0659	3,03	0,567
Tungsteno	92	0,0334	3,07	0,587
Argento	108	0,0570	3,08 × 2	0,597
Rodio	52,1	0,0580	3,02	0,615
Oro	197	0,0324	3,19	0,624
Osmio	98	0.0310	3,05	0,662
Zinco	32,5	0,0956	3,13	0,669
Palladio	53,24	0,0593	3,14	0,670
Iridio	93,0	0,0320	3,15	0,678
Platino	98,9	0,0324	3,21	0,685
*Boro	11	0,260	2.86	0,697
Rame	31,7	0,952	3,02	0,842
Ferro	28	0,114	3,19	0,882
Cobalto	29,4	0,1065	3,18	0,906
Manganese	27,5	0,115	3,16	0,921
Niccolo	29	0,108	3,13	0,961
		CORPI LIQUIDI.		
Bromo	80	0,113	4,14 × 2	0,390
Mercurio	100	0,033	3,33	0,449
		CORPI AERIFORMI.		
Idrogeno	1	3,4090	3,4090	0,2359
Azoto	14	0,2438	3,4132	0.2370
Ossigeno	8	0,2175	3,4800 : 2	0,2405
Cloro	35,5	0,1210	4,29550	0,2962

Osservazioni. Onde non vi facciate un'idea erronea della legge di Dulong e Petit, gioverà aggiunger qui alcune osservazioni circa la tavola precedente. 1.° I prodotti corrispondenti alle diverse sostanze, esposti nella quarta colonna, risultano in generale poco differenti tra loro. Esclusi i segnati con *; gli altri che più differiscono, quelli del fosforo e del bromo, corrispondono al rapporto di 1,0 a 1,41. Anzi codeste differenze debbonsi dire ben poco rilevanti, qualora si rifletta che i calorici specifici delle singole sostanze variano di molto fra loro (sino da 1,0 a 30,5 pel bismuto ed il litio), ed ove si pensi alle tante difficoltà che s'incontrano a calcolare esattamente questi calorici specifici, sia per le inesattezze dell'esperienza, sia per le circostanze che ne modificano i risultati, quali sono la temperatura e lo stato fisico dei corpi cimentati, e sia in fine per le incertezze che tuttora sussistono sul giusto valore dell'equivalente chimico di non poche sostanze. 2.° Tuttavia in generale i corpi semplici, in ordine al prodotto C . *p*, si debbono distinguere in varj gruppi, che peraltro risultano di corpi somigliantissimi nelle qualità fisiche, tali sono i corpi solidi metallici, i solidi non metallici, i liquidi, i gas perfetti, ecc. 3.° Per applicare la legge di Dulong e Petit proprio a tutti i corpi semplici, bisogna o modificare la legge stessa dicendo che il prodotto C . *p* è costante, oppure un multiplo od un submultiplo molto semplice di tale quantità, o meglio raddoppiare o ridurre alla metà il valore dell'equivalente ad alcuni corpi attribuito colla sola scorta dei fatti chimici. 4.° Ad ogni modo la legge di Dulong e Petit è da annoverarsi fra quelle che diconsi *leggi a limiti*, le quali si verificano con sufficiente esattezza solo fra certi limiti di valori per le rispettive condizioni fisiche, e nel resto non sono che leggi d'approssimazione.

Corollarj. Poste innanzi queste notizie, dalla tavola esposta si possono dedurre alcune conseguenze importantissime, ed eccole: 1.° I calorici specifici a volume nei diversi corpi solidi differiscono assai meno dei calorici specifici a peso; giacchè i valori estremi per questi stanno nel rapporto di 1 a 30,5 (bismuto e litio), e quanto a quelli il minor valore sta al più grande come 1 sta a 6,7 (potassio e niccolo). 2.° I calorici specifici a peso dei corpi solidi, in generale, sono in ragione composta inversa della densità e diretta della coesione relativa. 3.° I calorici specifici a volume sono per lo più maggiori nei corpi solidi in cui è maggiore la coesione. È facile a chicchessia riconoscere che i metalloidi, ed i metalli meno tenaci o meno duri e di più facile fusione, si trovano nel principio della serie; i metalli più

tenaci, più duri o meno fusibili appajono tra gli ultimi; e verso il mezzo della serie stanno metalli nei quali ben può dirsi mezzana la tenacità. A conferma di ciò gioverà ricordare quanto fu esposto nei paragrafi 42, 43, 46, 301 e 312. 4.° Anche pei liquidi e pei gas perfetti si scorge una ben minore differenza tra i calorici specifici a volume che fra i corrispondenti calorici specifici a peso; e da ciò si deduce che anche fra essi i meno densi hanno una più grande caloricità a peso; ma quest' ultima quantità mostra un divario sensibile dalla legge di Dulong e Petit. 5.° Il bromo considerato allo stato gasoso ha pel calorico una capacità (4,416) eguale a quella del cloro, ed i prodotti C . *p* che corrispondono a questi due corpi sono eguali fra loro, ma molto superiori a quelli corrispondenti agli altri corpi. Se ciò dipenda dalla loro prossimità al punto di liquefazione, o dall' essere corpi composti che possono apparire come semplici in molti fenomeni chimici, allo stesso modo del cianogeno, col quale hanno molte somiglianze, non è questione che possa essere decisa nello stato attuale della scienza.

557. **Leggi dei calorici specifici dei corpi composti.** Scoperta la legge enunciata circa i calorici specifici dei corpi semplici, nacque naturalmente l'idea d' esaminare se la cosa si potesse applicare anche ai corpi composti. Newmann ed Avogadro, ed in un campo più largo Regnault confermarono che: 1.° i calorici specifici delle leghe, a notevole distanza dal loro punto di fusione, sono i medj dei calorici specifici dei metalli componenti; 2.° i calorici specifici delle sostanze composte, d'analoga costituzione chimica, cioè di quelle la cui molecola è formata dallo stesso numero di atomi semplici, sono inversamente proporzionali ai rispettivi equivalenti chimici; sicchè il prodotto di questi due fattori (calorico specifico ed equivalente chimico) è prossimamente costante pei varj composti di uno stesso gruppo. Quanto ai composti binarj, e specialmente a molti solfuri, cloruri, joduri e bromuri, si osserva che dividendo il prodotto menzionato pel numero delle molecole elementari che entrano nell'equivalente del composto, si ottiene un numero che non differisce molto da 3,13, trovato sopra pei corpi indecomposti. Gli ossidi però, e più ancora i sesquiossidi, mostrano notabili differenze nei prodotti corrispondenti ai diversi composti d'un medesimo gruppo, ed il prodotto dei calorici specifici dei composti ternarj pei loro equivalenti, benchè siano prossimamente eguali in quelli di uno stesso gruppo, tuttavia non hanno un rapporto esatto col numero delle molecole semplici che li costituiscono.

A dilucidazione del sin qui detto circa la seconda legge dei calorici specifici corrispondenti ai corpi composti, aggiungiamo la tavola seguente.

Genere del composto	Formola del composto	Prodotto medio del calorico specifico per l'equival. chim.	Quoto del prodotto precedente pel numero degli atomi
Acidi	RO^2	6,92	$\frac{6,92}{3} = 2,31$
»	RO^3	9,04	$\frac{9,04}{4} = 2,26$
Ossidi	RO	5,52	$\frac{5,52}{2} = 2,76$
»	R^2O^3	13,58	$\frac{13,58}{5} = 2,72$
Solfuri	RS	5,96	$\frac{5,96}{2} = 2,98$
»	R^2S^3	15,25	$\frac{15,25}{5} = 3,05$
»	RS^2	10,32	$\frac{10,32}{3} = 3,44$
Cloruri	RCl^2	9,36	$\frac{9,36}{3} = 3,12$
»	R^2Cl^2	12,69	$\frac{12,69}{4} = 3,17$
Ioduri	RI^2	9,68	$\frac{9,68}{3} = 3,23$
»	R^2I^2	13,15	$\frac{13,15}{4} = 3,29$
Bromuri	R^2Br^2	13,68	$\frac{13,68}{4} = 3,42$
»	RBr^2	9,66	$\frac{9,66}{3} = 3,22$
Carbonati	RO,CO^2	10,72	$\frac{10,72}{5} = 2,14$
Solfati	RO,SO^3	13,28	$\frac{13,28}{6} = 2,21$
Nitrati	R^2O,AzO^5	25,05	$\frac{25,05}{9} = 2,67$

Da questa tavola si ha una buona conferma della legge suesposta, ossia apparisce evidentemente che gli atomi semplici conservano i loro calorici specifici anche nei composti. Se qualche corpo fa eccezione alla regola, ciò si deve attribuire all'influsso delle forze molecolari, il quale generalmente dev'essere tanto maggiore quanto è più grande il numero degli atomi semplici che entrano nel composto, ma del resto può variare anche per altre cause. Non possiam dunque aver dubbio alcuno sulla verità della legge menzionata, ammessa come limite; ma pure non bisogna dimenticare che per verificarla in tutti i corpi, bisognerebbe prenderli tutti ad egual punto di coesione, egualmente lontani dalla fusione o dalla volatilizzazione, ed in una parola a punti in cui le influenze delle forze molecolari fossero eguali per tutti.

Un altro fatto che mette in piena evidenza questa cosa, si è che i composti gasosi formati da gas semplici, che nella loro combinazione non siansi condensati, hanno calorico specifico in volume eguale a quello dei componenti; mentre se i gas elementari nel combinarsi si sono condensati, il calorico specifico del composto aeriforme differisce da quello dei componenti, ma d'ordinario è prossimamente eguale a quello di altri composti simili che siano nati con pari contrazione di volume.

538. **Equivalente meccanico del calorico.** Dopo questa lunga digressione sul lavoro che può essere effetto o causa del calorico e sulla capacità dei corpi pel calorico, potete facilmente comprendere la soluzione del problema enunciato al principio del n. 534, cioè in qual proporzione il calorico ed il lavoro meccanico si trasformino reciprocamente l'uno nell'altro, ossia qual sia l'*equivalente meccanico del calorico*. Con questa espressione i fisici intendono di significare appunto la quantità di lavoro (226) prodotto da una caloria, o viceversa la quantità di lavoro che bisogna compiere per ottenere una caloria. Molti sagacissimi esperimentatori hanno imaginati diversi metodi per determinare il valore di questo equivalente meccanico del calorico, ed ormai non ci deve far meraviglia se gli sforzi uniti di tanti ingegni siano arrivati a tradurre questa quantità in un numero concreto. Noi non possiamo descrivere tante e sì delicate esperienze: ve ne faremo peraltro conoscere alcune delle principali.

La prima che vi esponiamo è dovuta ad Hirn. Questo fisico, partendo dall'idea dell'urto ordinario dei corpi solidi, costrusse un apparato che ha qualche analogia con quello che serve nelle scuole a dimostrare le leggi sullo scambio del movimento fra i solidi (239). Le parti essenziali di questa macchina erano due:

un pezzo pesante di legno, detto l'*ariete*, sospeso orizzontalmente per mezzo di funi verticali; ed una grossa pietra, chiamata l'*incudine*, sostenuta allo stesso modo. L'una e l'altra avevano le estremità coperte di lastre di ferro; ed in mezzo a loro si collocava una massa di piombo. Forse avrete già indovinato l'uso di questo semplicissimo apparato. Si sposta l'ariete e l'incudine dalla loro posizione d'equilibrio, indi s'abbandonano contemporaneamente al proprio peso, sicchè vengano a percuotere nel medesimo istante il pezzo di piombo: da un termometro, collocato in una cavità di questo medesimo corpo, si conosce l'elevamento di temperatura prodotto dall'urto. Calcolando la forza viva della caduta e del rimbalzo dei due pezzi della macchina, Hirn conobbe quella perduta nell'urto, e trasformata in calorico; e da parecchi esperimenti dedusse esser l'equivalente meccanico del calorico di 425 chilogrammetri.

Un'altra bella esperienza ideò Ioule al medesimo intento. Egli si servì di un apparato analogo a quello che già vi abbiamo fatto conoscere, parlando del calorico prodotto nello sfregamento dei liquidi (531). È facile intendere il congegno che mette in movimento l'albero delle palette da cui è agitata l'acqua. Una corda (fig. 505) s'avvolge intorno al cilindro applicato all'estre-

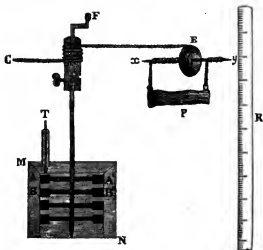



Fig. 505.

mità superiore dell'albero, ed abbraccia una carrucola E (mossa da un peso P), il cui asse è sostenuto da un sistema di rote disposte come quelle della macchina d'Atwood. Al medesimo ci-

lindro è applicata un'altra corda C, opposta alla prima, e parimenti avvolta sopra una seconda carrucola sorretta allo stesso modo di E, e sollecitata da un peso eguale a P. Quando si vuol far l'esperienza, prima di tutto si nota la temperatura dell'acqua nel vaso MN, indicata dal termometro T, indi si alza il peso P fin presso alla carrucola E, girando nel senso opportuno la manovella F, e lo si abbandona a sè stesso finchè abbia raggiunto il piano della stanza. Allora, tosto si rota di nuovo la manovella, onde il movimento dell'apparato non si arresti che per un breve istante. Perchè l'esperienza abbia un buon effetto, è necessario che questa operazione sia ripetuta almeno per venti volte. Dopo ciò si osserva quanto sia elevata la temperatura dell'acqua, si calcola il calorico perduto dall'acqua nel tempo dell'esperimento, con un metodo che più innanzi conoscerete; e così si arriva a sapere il numero delle calorie sviluppate nell'agitazione dell'acqua posta nel vaso MN. Per raggiungere l'intento, rimane a determinarsi il lavoro trasmesso all'agitatore, e perciò si moltiplica il peso pel cammino percorso nella discesa, misurata dalla scala R e venti volte ripetuta (226). Ma a stabilire precisamente qual debba essere il numero che rappresenti i chilogrammetri trasformati in calorico, da questo prodotto bisogna sottrarre quelli che vennero assorbiti dallo sfregamento fra le varie parti della macchina. Il mezzo che serve a conoscerli è semplicissimo. Si separa il cilindro dall'agitatore, si riuniscono le due carrucole per mezzo di una corda sola, avvolta sul cilindro stesso, in modo che i due pesi si facciano equilibrio, e si cerca qual massa bisogna aggiungere ad una parte del sistema onde essa discenda con moto uniforme, e per conseguenza l'altra si elevi allo stesso modo. Chi si rammenti le cose esposte nel n. 199, intende il lavoro di questo peso addizionale eguaglia evidentemente il lavoro assorbito dallo sfregamento in discorso. Così facendo Ioule ha trovato che l'equivalente meccanico era 430 chilogrammetri esperimentando coll'acqua, e 432 chilogrammetri se vi era sostituito il mercurio.

Simil processo può applicarsi eziandio ai solidi, come fece il medesimo Ioule, instancabile esperimentatore. In questo caso lo strumento dev'essere modificato, ed ecco in qual modo. L'albero non ha più le palette, ma alla parte inferiore porta una rota incavata xy (fig. 306) di ghisa, capace di adattarsi precisamente ad una seconda rota S parimenti di ghisa, fissa, indipendente dall'albero, e tagliata ad ugnatura lungo la circonferenza.

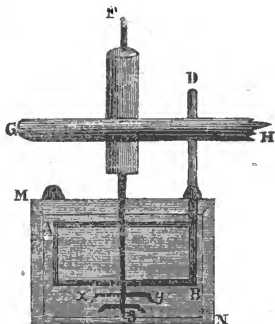
La rota xy può essere premuta contro la rota S per mezzo dell'asta BD e della leva GH, avente il fulcro in G. Il vaso MN

è riempito di mercurio; ed il movimento è trasmesso all'albero, e quindi alla rota xy, mediante il sistema di puleggie poc'anzi descritte. L'equivalente ottenuto in queste esperienze fu di 432 chilogrammetri.

Fig 506.

Ioule volle estendere le sue indagini anche ai gas, e cercare quante calorie si sviluppavano nel comprimere questi corpi con un lavoro determinato; pensò tre distinte maniere di esperimentare, ed ebbe per valori finali dell'equivalente meccanico del calorico i numeri di chilogrammetri 451, 447 e 418.

Non bisogna credere però che il modo ora esposto, cioè di calcolare la quantità di calorico prodotto da un lavoro determinato, sia il solo per conoscere l'equivalente meccanico del calorico; si può raggiungere il medesimo intento anche seguendo il processo contrario, ossia computando l'effetto meccanico che si ottiene da una determinata quantità di calorico. Così fecero di fatto altri fisici: Mayer dalla dilatazione dei gas trovò l'equivalente meccanico di 337 chilogrammetri; e Seguin, cimentando l'espansione del vapore acqueo, stabilì il numero 449 chilogrammetri. Lo stesso Ioule ebbe l'idea di valutare l'equivalente meccanico del calorico per mezzo del riscaldamento sviluppato nelle azioni elettro-magnetiche; ed altri dotti lo dedussero matematicamente dalle leggi esperimentali sul cambiamento di volume dei gas.

A prima giunta, qualcheduno potrà meravigliarsi della differenza fra i valori attribuiti all'equivalente meccanico dai diversi esperimentatori. Ma deve riflettersi che il risultato di simili esperienze dipende dalla maniera con cui l'apparato trasforma il lavoro meccanico in calorico, od il calorico in lavoro meccanico, sicchè possono pure avvenire lavori interni sfuggiti anche alla perspicacia dell'osservatore. È peraltro da sapere che il calcolo della quantità di calorico perduta nel tempo dell'operazione non può farsi con quella esattezza che si potrebbe desiderare in un esperimento tanto delicato. Chi tuttavia conservasse qualche dubbio circa la verità di quanto vi dico, dovrà pure convincersi

osservando che spesse volte i risultati ottenuti con uno stesso metodo differiscono più di quelli ottenuti con metodi diversi. La causa adunque del divario menzionato non è che l'incertezza dell'esperienza; ed è anzi singolare che, adottando processi disparatissimi, si abbiano ottenuti numeri che differiscano sì poco fra loro. Epperò questa medesima circostanza può essere una buona conferma del valore attribuito all'equivalente meccanico.

Zeuner assume per valore finale dell'equivalente meccanico il numero 428 chilogrammetri: è quello adottato da molti fisici; e noi pure ci atterremo ad esso nell'esposizione delle leggi sul calorico. Bisogna ricordarsi che questa è una forza enorme ed equivalente a circa 6 cavalli-vapore. Quindi una macchina che fosse dotata di simile potenza, e non servisse ad altro che a scaldare un chilogrammo d'acqua, ad ogni minuto secondo ne eleverebbe la temperatura per un grado solo. Ed in generale, quella forza che in un tempo qualunque alzerebbe 428 chilogrammi all'altezza di un metro, nello stesso periodo di tempo non ne aumenterebbe la temperatura che di un grado centesimale.

559. **Teoria dinamica del calorico.** Tutti i fatti accennati, come ognuno può ravvisare a colpo d'occhio, ci traggono non solo a preferire il sistema d'ondulazione a quello di emanazione, ma ci persuadono ancora il principio ammesso attualmente da tutti i fisici, e conosciuto nella scienza sotto il nome di *teoria dinamica del calorico*. Questo principio non è che il compimento o lo sviluppo del sistema d'ondulazione, e si può formulare in questi termini: il calorico è un movimento che i corpi ricevono e trasmettono secondo le leggi generali della meccanica; ossia, per meglio indicare la cosa, il calorico di un corpo è la forza viva da esso posseduta (Secchi, *Unità delle forze fisiche — e Comp. Rend.*, 8 ottobre 1866), cioè il prodotto della massa nel quadrato della velocità (241). Strettamente parlando per misura di una forza viva di una molecola, bisognerebbe assumere solo la metà del prodotto indicato; ma in pratica è indifferente attenersi all'una od all'altra espressione, perchè qui non si tratta che di quantità proporzionali.

Dalle leggi sul calorico specifico all'equivalente meccanico, e fra molti dei fatti descritti o di quelli che più tardi vi farò conoscere, vi è una distanza infinita per chi non ha afferrata la teoria dinamica del calorico. Ma capito una volta questo principio, quelle cose appariscono tutte conseguenze naturalissime.

La *temperatura* di un corpo, in questa ipotesi, è lo stato vibratorio particolare delle molecole o dei gruppi molecolari che lo costituiscono. Epperò si concepisce facilmente come per mettere in

moto queste molecole basti comunicar loro una quantità di forza viva, o coll'urto, o collo sfregamento, ecc., alla stessa guisa che per ottenere un suono da una campana, o da una corda metallica, bisogna percuoterle o sfregarle; e si acquista un'idea ben chiara della curiosa trasformazione del lavoro meccanico in calorico, e viceversa. Quando un corpo, per una resistenza che incontra, perde di quel movimento che gli venne impresso da un agente esterno, questo moto non si annienta, ma da traslatorio di tutta la massa si trasforma in vibratorio degli atomi che la compongono, e che compongono quelle dei corpi circostanti. La meccanica ci offre numerosi esempi di analoghe mutazioni d'un movimento in un altro di specie diversa. Nel giuoco del bigliardo spesse volte la palla, dopo d'aver percosso la mattonella, ad un tratto muta movimento: non scorre più, ma rota rapidamente sopra sè stessa. Del resto, chi si rammenti quanto avviene allorchè si agita il battaglio di una campana, non ha bisogno di andar così raggranellando prove del cambiarsi di un moto in un altro. Qui non è forse il lavoro meccanico che si trasforma in moto vibratorio dell'aria, cioè in suono?

Il principio del moto che si converte in calorico, rende buon conto delle esperienze sopra descritte (552). Ne abbiamo già fatto un cenno parlando dello sfregamento dei solidi; ed è facile estendere la cosa a tutti gli altri casi. Quando, per esempio, un gas è compresso, havvi uno sviluppo di calorico perchè il lavoro della forza comprimente si trasforma in moto vibratorio delle molecole della massa gasosa. Parimenti il calorico che si manifesta nella compressione o nello sfregamento di un corpo qualunque non è che il lavoro impiegato in queste azioni, il quale appare sotto una forma novella. Il riscaldamento del disco rotante, nella celebre esperienza di Foucault, è l'effetto dello sforzo esercitato per vincere la resistenza della calamita, il quale si è trasformato in calorico. Dopo ciò, ognuno può ravvisare a colpo d'occhio l'importanza del termo-generatore di Beaumont e Mayer; perchè sebbene in pratica questa macchina non renda grandi servigj che a quelle località, le quali, mentre abbondano di forze motrici, mancano di combustibile, pure sotto il punto di vista teorico conferma nel modo il più luminoso il principio della trasformazione del lavoro meccanico in calorico.

Ammesso ciò, non fa più meraviglia che le vibrazioni calorifiche alla loro volta possano dar origine ad un lavoro meccanico; giacchè, se questo è collegato a quelle non solo per semplice relazione di causa ad effetto, ma per vera trasformazione, il fenomeno deve anche invertirsi, a quella guisa che chi cam-

mina per una strada in un senso, è capace ancora di percorrerla nel senso opposto. Anche le vibrazioni sonore non valgono forse a projettare granelli di sabbia od altri corpi leggeri, perdendo della loro intensità? Ma non sempre il moto termico, passando da un corpo ad un altro, si trasforma; due corpi possono comunicarsi il calorico, come due palle perfettamente elastiche si possono scambiare il moto. Ed è sorprendente l'analogia tra la formola $T = \frac{mt + m't'}{m + m'}$ (554) che rappresenta la temperatura della mescolanza di due corpi omogenei, coll'altra $V = \frac{mv + m'v'}{m + m'}$ (257), che esprime la velocità di due altri che dopo l'urto si movano assieme.

La eguale caloricità specifica degli atomi semplici e, più ancora, tutte le circostanze che fanno variare il calorico specifico dei diversi corpi sarebbero stranissime se il calorico fosse una particolare sostanza che emanasse dai corpi caldi; ed invece si spiegano ottimamente secondo le moderne teoriche, e ne sono una bella conferma. Secondo queste idee la caloría deve definirsi — la differenza tra la forza viva di un chilogrammo d'acqua distillata ad 1° centigrado, e quella della medesima massa a 0°; ed il calorico specifico di un corpo non è altro che la quantità di forza viva che fa d'uopo comunicare ad esso onde aumentarne il movimento termico da 0° ad 1°.

Gli atomi presi isolatamente hanno tutti la stessa capacità pel calorico, cioè una quantità determinata di calorico produce sempre una eguale elevazione di temperatura in un medesimo numero di atomi di un corpo semplice o composto; giacchè una certa forza, finchè non ha da vincere che la sola inerzia, produce sempre la stessa quantità di moto, qualunque sia il corpo a cui viene applicata. Che se in pratica si osservano notevoli differenze fra i calorici specifici delle diverse sostanze, ciò dipende, come abbiam detto dal modo di aggregazione degli atomi che le compongono; ed è ben naturale che la quantità di forza viva adoperata ad eccitare in un corpo un dato movimento termico, varii a seconda della densità, della struttura e dell'elasticità di questo corpo. Imperocchè il vincolo che stringe fra loro gli atomi del corpo è un ostacolo al moto singolare delle molecole, e siccome può variare di energia, può opporsi più o meno alle vibrazioni delle molecole stesse, così esige una quantità più o meno notevole di forza per essere vinto. Un esempio di ciò l'abbiamo nella caduta dei gravi. La gravità imprime a tutti gli atomi la stessa velocità; ma solo nel caso che siano liberi, e non collegati in sistema. Così nell'aria questa legge cessa di verificarsi,

perchè i diversi corpi incontrano ineguale resistenza nel mezzo. Forse domanderete adesso se la scienza conosce la quantità totale di forza viva posseduta da un corpo. A questa curiosa domanda risponde Babinet, fervido cultore delle scienze naturali. Egli pensa (*Comp. Rend.*, 8 ottobre 1866) che la quantità totale di forza viva di una molecola a 0° è presso a poco eguale a 1200 il numero che ne esprime il calorico specifico.

Finalmente l'esistenza dell'equivalente meccanico del calorico è un altra prova della teoria dinamica; ed è cosa per sè stessa evidente. Se tra il lavoro meccanico ed il calorico havvi un rapporto costante, sicchè tanto ne appare dell'uno quanto se ne distrugge dell'altro, e ciò spesse volte avviene immediatamente, ossia senza intermezzo alcuno, è fuor di dubbio che l'uno è connesso coll'altro, non solo come la causa all'effetto, ma anche secondo un principio di vera trasformazione dell'uno nell'altro. È chiaro che si potrebbe allo stesso trovare anche l'equivalente meccanico del suono, computando l'urto del martello secondo la regola generale di meccanica, ed il tremore armonico con un processo analogo al metodo ottico (378). Il numero che misura l'escursione del corista vibrante equivarrebbe al numero dei chilogrammetri che rappresentano la percussione, come il numero dei gradi che esprime la dilatazione del corpo termometrico equivale al numero dei chilogrammetri che significano il lavoro meccanico.

Adunque, non discutiamo più la teoria dinamica del calorico; ma accettiamola con ammirazione, e vediamo piuttosto di intenderla pienamente, e di giustamente applicarla a fenomeni di un altro ordine.

ARTICOLO SECONDO

SORGENTI CHIMICHE DEL CALORICO.

540. **Calorico sviluppato nelle combinazioni chimiche**. Abbiam già accennato che, quando due o più corpi si combinano tra loro, havvi sempre uno sviluppo più o meno notevole di calorico, se pur si eccettua il caso in cui il fenomeno sia accompagnato da circostanze particolari le quali assorbano il calorico prodotto. Così, per esempio, abbiam visto che mescolando (324) acido solforico ed acqua si ottiene un sensibilissimo elevamento di temperatura; versando (358) una goccia, anche tenuissima, di acido solforico in una meschianza a parti eguali di zuccaro e clorato di potassa, si ha una brillantissima accensione; bagnando (344) con acqua la calce o la barite, questi corpi si riscaldano, ed al punto che nel primo caso si può in-

fiammare la polvere introdotta per mezzo di un tubo nel corpo bagnato, e nel secondo la massa su cui si opera può divenire incandescente. Parimenti, quando si versa acido nitroso nell'olio di trementina, il composto avvampa. Se in un'ampolla di vetro si mescolano due polveri di rame e solfo, e si espongono ad un moderato calore, onde determinare la loro reciproca azione chimica, appena ciò incomincia, la massa diviene ad un tratto incandescente pel calorico sviluppato nella combinazione dei due elementi mescolati. Anche l'azione chimica dell'acido solforico sopra un miscuglio di solfo e clorato di potassa sviluppa calorico, accompagnato da viva luce, e da forte esplosione se nella mescolanza havvi un po' di fosforo.

541. **Leggi sullo sviluppo del calorico nelle combinazioni chimiche.** Molti esperimenti vennero ideati per scoprire le leggi sullo sviluppo del calorico nelle combinazioni chimiche. Noi tralasciamo sì delicate esperienze; e soltanto diremo che i risultati certi, ottenuti circa l'argomento in discorso, sono i seguenti: 1.° Per ogni combinazione chimica la quantità di calorico sviluppata è definita e costante, ed indipendente dalla celerità con cui si opera. Per esempio, nell'ossidazione violenta e luminosa di una sostanza si svolge egual calorico a quello che si ottiene quando essa è tranquilla ed oscura. Non bisogna però dimenticare che in quest'ultimo caso è più difficile impedire o calcolare le perdite esterne, e quindi può sembrare diversa la quantità di calorico prodotta. È cosa notissima che l'acido solforico, unendosi all'acqua, manifesta un riscaldamento tanto maggiore quanto meno l'acido è diluito; ma se al calorico che si ottiene coll'acido diluito si aggiunga quello che si ebbe nel diluirlo, la somma eguaglia sempre il calorico che si sviluppa coll'acido anidro. Così parimenti, se il prodotto della combinazione resta mescolato all'altra massa del corpo non combinata, come nelle idratazioni degli acidi, ad una determinata quantità di composto formatosi corrisponde sempre la medesima quantità di calorico, sia la mescolanza fatta a poco a poco, sia fatta istantaneamente. Questa quantità di calorico poi si mantiene costante e nella combinazione avvenuta di seguito, e in quella interrotta e fatta solo a varie riprese. 2.° I corpi, abbruciando colla medesima quantità di ossigeno, sviluppano quantità di calorico fra loro eguali o multiple le une delle altre. La prima tavola esposta al n. 544 ve ne offre una conferma. 3.° Il calorico che si sviluppa nella combinazione di un composto coll'ossigeno, generalmente, è minore di quella che sviluppano i suoi elementi, unendosi separatamente al medesimo gas. Esaminando le tavole del medesimo

n. 544, potete averne una prova. 4.° Finalmente i composti più stabili sono quelli che nel generarsi producono un maggior numero di calorie. Allorchè un equivalente d'argento si combina ad uno d'ossigeno, per formare l'ossido, che è un composto molto instabile, non si sviluppano che 6,113 calorie; laddove se ne sviluppano 34,800 quando un equivalente d'argento, combinandosi ad uno di cloro, forma il cloruro d'argento, composto stabilissimo. Secondo Favre e Silbermann i corpi da loro esperimentati, secondo la quantità di calorico che producono ossidandosi a pari circostanze, debbono essere disposti nell'ordine seguente: potassio, sodio, zinco, ferro, idrogeno, piombo, rame, argento. La difficoltà che in altri tempi si poteva fare a questa conclusione rispetto all'acqua, è stata tolta da Grove, il quale dimostrò che questo composto non è uno dei più stabili, decomponendolo ad una temperatura a cui resistettero senza scomporsi l'ossido di zinco ed il sesquiossido di ferro.

542. **Combustione**. Le operazioni chimiche accompagnate da sviluppo di calorico e di luce, si appellano *combustioni*. Alla combustione propriamente detta si richiedono dunque tre condizioni, cioè: 1.° un cambiamento nella costituzione dei corpi che producono il fenomeno; 2.° lo sviluppo di calorico; e 3.° la luce. Le operazioni chimiche nelle quali si eccita calorico assai forte, ma privo di luce, si sogliono talora chiamare *combustioni oscure*, specialmente se l'alterazione chimica è molto sensibile, come avviene quando il sodio si combina all'ossigeno di una gran massa d'acqua, perchè in realtà queste operazioni non differiscono dalle combustioni propriamente dette, se non pel grado del calorico che si desta. Quindi attualmente Boillot (*Comp. Rend.*, 7 maggio 1866) definisce in generale la combustione — una combinazione di due o più corpi con sviluppo di una notevole quantità di calorico, spesse volte accompagnato da luce. — Si è disputato molto per sapere come si sviluppi calorico, e quanto se ne ecciti in ogni particolare combustione. Il tema era di una applicazione tanto pratica ed importante, che chiamò ad esaminarlo l'attenzione dei filosofi anche nei tempi più remoti.

La prima ipotesi sistemata che si conosca, circa il fenomeno della combustione, è quella dei meccanici. Secondo essi, il fuoco (calorico e luce) si troverebbe interposto fra gli atomi dei corpi, e così imprigionato che, non ostante una sua elasticità o tendenza ad espandersi, dovrebbe rimanervi *fisso*. Ma quando si accosta ad un corpo combustibile, dotato cioè del fuoco fisso, una scintilla ignescente, questa lacera, secondo essi, le pareti delle cellule che tocca; il fuoco contenuto pel suo ela-

terio vi si sprigiona e rompe le cellule contigue, da cui esce altro fuoco, e così la deflagrazione si comunica a tutta la massa combustibile. L'aria poi circostante agisce meccanicamente colla sua pressione, opponendo un ostacolo alla subitanea dissipazione del fuoco, e concentrandone così la sua azione sul corpo in combustione. Ma un esperimento semplicissimo basta a mostrare l'insussistenza di questa teoria. Si ponga una candela accesa sull'acqua contenuta in un bacino, indi si copra la candela medesima con una campana di vetro ripiena naturalmente d'aria. La fiamma della candela perde a poco a poco la sua vivacità, e per gradi giunge fino a spegnersi totalmente. Allora l'acqua esterna sale nella campana ad un quinto circa della sua altezza. Che se si introduce con prestezza nella campana un'altra candela accesa, essa si spegne all'istante, egualmente come se venisse tuffata nell'acqua. Questo esperimento prova: 1.° Che nella combustione havvi un assorbimento d'aria, giacchè l'acqua si eleva ad occuparne il posto. 2.° Che l'aria serve fino ad un certo punto alla combustione, oltre il quale essa ne diviene inetta. E l'uno e l'altro di questi fatti, anzichè avere una spiegazione dalla ipotesi dei meccanici, la contraddicono apertamente.

Caduta quella teoria, Sthein fondò la celebre dottrina chimica del flogisto, colla quale si credeva di dare una completa spiegazione al fenomeno della combustione. Il flogisto o fuoco fisso, giusta le idee di Sthein, trovasi combinato nei corpi combustibili con proprietà affatto differenti di quelle che assume quando rendesi libero, giacchè in questo stato solo esso può riscaldare ed illuminare. L'aria ha grande affinità pel flogisto, e tende a separarlo dai corpi che lo contengono, con tanta maggiore energia quanto meno flogisto essa contiene; ma qualora si renda satura di flogisto, o cioè sia flogisticata, non vale più a sviluppare altro flogisto, ed allora cessa la combustione.

Tre principali obbiezioni palesano la falsità di questa dottrina: 1.° Le proprietà attribuite da Sthein ai corpi, per la presenza del flogisto, non si riscontrano sempre in tutti i corpi combustibili. Il carbone, per esempio, ch'egli suppone eminentemente flogisticato, non ha odore, non è volatile, non è fusibile, eppure l'odore, la volatilità e la fusibilità sono le primarie proprietà che il flogisto comunica ai corpi, secondo Sthein. Il diamante non si può fondere, è molto fisso, trasparente, inodoro, e malgrado ciò è forse il corpo più combustibile che si conosca, abbruciando per intero, senza cioè alcun residuo. Molti liquidi combustibilissimi, come l'alcool e l'etere non hanno colore, mentre il flogisto, unica causa del coloramento dei corpi, secondo questa dot-

trina, loro dovrebbe comunicare una tinta molto intensa. 2.° Questa ipotesi non spiega l'assorbimento dell'aria che si constata ordinariamente nelle combustioni. 3.° Non spiega l'aumento di peso, che si sperimenta in ogni corpo quando ha subito la combustione ed è reso quindi combusto o deflogisticato.

Lavoisier, dopo la celebre scoperta fatta da lui sulla composizione dell'aria (307), definì la combustione *per quella operazione della natura, mediante la quale un corpo affine coll'ossigeno si appropria ad una determinata temperatura questa sostanza, che sciolta pel calorico si trova nell'atmosfera allo stato di gas, sviluppando così una più o meno grande quantità di calorico e di luce.* Il dotto francese a conferma di tale spiegazione vantava i fatti seguenti: 1.° Nel vuoto cessa ogni combustione. 2.° Un lume arde in una capacità chiusa solo fino a che vi si trova ossigeno. 3.° In ogni altro gas, al dire di Lavoisier, la combustione cessa. 4.° Nel puro gas ossigeno i corpi combustibili, che abbiano appena una temperatura iniziale per la combustione, tosto si infiammano e vi abbruciano con una rapidità ed una luce sette volte maggiore della naturale. 5.° I corpi che ardono nel gas ossigeno, se ignescenti vengono immersi in un altro gas tosto si estinguono, e se così estinti, ma ancor caldi si immergono di nuovo nel gas ossigeno, si riaccendono. 6.° Lo sviluppo di calorico e la luce nella combustione, generalmente parlando, è tanto più grande quanto minore è lo stato di aggregazione del comburente e del combustibile, e maggiore invece la densità a cui passa il combusto; così nella combustione dell'idrogeno coll'ossigeno è copiosissimo lo sviluppo del calorico, facendosi libero il calorico di fluidità di questi gas, che nel combinarsi passano allo stato liquido e generano l'acqua. 7.° I corpi abbruciando aumentano di peso, appunto quanto è il peso dell'ossigeno assorbito. Così abbruciando nel gas ossigeno 100 parti di solfo, ne assorbono 150 d'ossigeno, e danno 250 d'acido solforico; 28 parti di carbonio assorbono nella combustione 72 di ossigeno, e si hanno 100 di gas acido carbonico.

Malgrado la forza di tanti argomenti (alcuni dei quali però non vennero in seguito verificati dalla esperienza), la teoria accennata è incapace a spiegare alcune operazioni chimiche (che secondo Lavoisier debbono dirsi combustioni, e che peraltro, secondo la definizione da noi data di questo fenomeno, non si possono considerare come tali), nelle quali i combustibili possono fissare una quantità notabile di ossigeno od altro comburente, senza sviluppo sensibile di calorico e di luce, come accade del gas nitroso nell'aria atmosferica e nel puro ossigeno, cangiandosi esso in acido

nitrico, e di tutti i metalli quando abbruciano nell'acido idroclorico. Inoltre questa teoria non spiega lo sviluppo di calorico avuto dalle combustioni che si operano fra corpi concreti ed anche nel vuoto; com'è della polvere pirica, dei nitrati fulminanti, ecc., le cui combustioni e fulminazioni non abbisognano d'altro che d'una temperatura iniziale. Altre combustioni inesplicabili per Lavoisier sono quelle nelle quali il combusto è di una densità molto minore che non fosse quella del comburente e del combustibile, e la sua capacità pel calorico è viceversa molto maggiore della capacità stessa ond'erano dotati i due fattori della combustione, e non ostante tutto ciò, si ha grande sviluppo di calorico e di luce. Finalmente la teoria di Lavoisier non dà conto delle combustioni, nelle quali non entra affatto l'ossigeno.

Il Brugnatelli modificando alcun che della teoria esposta, la rese capace di spiegare, secondo le antiche idee circa la natura del calorico, le combustioni ossigeniche con quella teoria inconciliabili. Egli imagina che l'ossigeno si trovi nei corpi in due stati, puro cioè e combinato chimicamente col calorico e la luce. Nel primo caso lo dice semplicemente *ossigeno*, nel secondo *termossigeno*. Così chiama *termossidati* i corpi che contengono il termossigeno; *ossigenati* quelli che rinchiudono l'ossigeno puro; *termossigena* la combustione dalla quale, oltre il calorico di gasificazione del comburente e del combustibile, si ha anche il termico che era combinato coll'ossigeno; ed *ossigena* semplicemente quella in cui non entra il termossigeno, oppure, se vi concorre, non si decompone. Quindi, secondo le idee di Brugnatelli, quelle combustioni che avvengono senza sviluppo sensibile di calorico e di luce, si dovrebbero attribuire a ciò che il combustibile ha affinità verso tutto il termossigeno del comburente, sicchè assorbe ossigeno, calorico e luce, e non ne sviluppa. Invece le combustioni che avvengono fra i corpi concreti ed anche nel vuoto dipenderebbero dalla diversa affinità del combustibile per l'ossigeno e pel termico (calorico e luce) del comburente: giacchè il combustibile assorbirebbe l'ossigeno del comburente, mettendo in libertà il termico. In modo analogo il Brugnatelli spiega le combustioni nelle quali il combusto ha una densità molto minore di quelle del comburente e del combustibile.

Ma, come ognuno avrà già avvertito, anche le modificazioni fatte dal Brugnatelli alla teoria di Lavoisier, suppongono che il calorico sia una sostanza materiale, capace di combinarsi colla luce, coll'ossigeno e cogli altri corpi. Inoltre rimangono ancora inesplicate le combustioni che avvengono senza il concorso dell'ossigeno. Novelle esperienze hanno provato che è erroneo il

credere che in ogni altro gas che non sia l'ossigeno cessi qualunque combustione. Così, per esempio, si eccita calorico e luce, allorchè si uniscono al cloro l'idrogeno, l'antimonio, l'arsenico, il rame ed altri metalli. Lo stesso accade quando lo solfo si combina al rame; allorchè il potassio e il sodio entrano in lega con diversi metalli; e nell'atto in cui il bromo, l'iodio, il fosforo, il selenio, il tellurio e l'arsenico, si uniscono all'ittrio ed al glucinio. Nè è necessario che i corpi che si combinano siano semplici, ma si eccita talora calorico con luce anche nella combinazione di due o più composti. Se, per esempio, l'acido solforico sia concentratissimo, nell'unirsi alla barite ed alla magnesia desta abbastanza calorico da farle roventi. In generale si ha la combustione ogni volta che due corpi, dotati di mutua e forte affinità, si combinano con sufficiente prestezza.

Da questi fatti appare chiaramente che l'ossigeno non si può più chiamare il sostegno delle combustioni, e che è priva di fondamento la distinzione dei corpi in *combustibili* e *comburenti*, poichè la combustione, essendo un effetto dell'affinità chimica, è prodotta dal concorso attivo d'ambedue o delle molte sostanze che si combinano. Boillot, sopra menzionato, ha provato esperimentalmente che un getto d'ossigeno o d'aria abbrucia nell'idrogeno o nel cloro, come una corrente di uno di questi gas s'infiamma nell'ossigeno o nell'aria; e pensa che l'ossigeno e l'aria debbonsi parimenti accendere in atmosfere d'ossido di carbonio, d'acido solfidrico, ecc., come questi gas abbruciano nell'aria e nell'ossigeno; e similmente che un getto di cloro possa mantenersi acceso nell'idrogeno, a quella guisa che questo, dopo d'essere stato infiammato nell'aria, continua ad abbruciare nel cloro.

Ciò peraltro non impedisce che si possa continuare a dire combustibili quelle sostanze che si combinano all'ossigeno con sviluppo di calorico e di luce, quando però non si perda di vista che questo è un modo di esprimere la cosa, mentre nel fatto l'azione fra i corpi che concorrono a produrre il fenomeno è reciproca.

I fenomeni menzionati, inesplicabili secondo le idee delle scuola antica, non solo appajono naturalissimi nella teoria dinamica del calorico, ma ne sono una novella e più luminosa conferma. Ammesso che il calorico sia un movimento vibratorio, facilmente si comprende come desso debba provocare le azioni chimiche (287. 5.°); e viceversa come l'affinità chimica, mettendo in moto le molecole, debba comunicare nuove vibrazioni all'etere nel quale sono immerse, ed a questo modo sviluppare calorico,

e spesse volte anche luce. Posta innanzi questa notizia generica, per farci un'idea chiara della cosa, consideriamo due atomi vibranti o due sorgenti luminose o calorifiche, e prendiamo l'unità a misura della loro massima velocità in un istante. È cosa che il buon senso suggerisce e la quotidiana esperienza conferma che queste due sorgenti producono assieme un effetto doppio di quello che corrisponde a ciascheduna di essa. Volendo esaminare teoricamente questo fatto, si ricordi che le vibrazioni calorifiche, come le luminose (486), si compiono in tutti i sensi nel piano perpendicolare ai raggi. Perciò, quando le velocità delle due sorgenti saranno cospiranti, cioè $+1$, e $+1$, ovvero -1, e -1, la forza viva sarà $(1+1)^2=4$, oppure $(-1-1)^2=4$; e quando quei movimenti saranno contrarj, ossia allorchè l'una delle due sorgenti sarà animata dalla velocità $+1$, e l'altra dalla velocità -1, oppure la prima sarà dotata della velocità -1, e la seconda della velocità $+1$, la risultante sarà zero, e la forza viva nulla. Per conseguenza in quattro istanti successivi, la forza viva totale sarà $4+4+0+0=8$, e quindi 2 sarà la forza viva media corrispondente ad ogni istante. Ma facciamo l'ipotesi che i due atomi o le due sorgenti di vibrazioni si leghino assieme, si uniscano a formare un composto; allora le velocità combinate saranno sempre $+1+1=2$, ovvero $-1-1=-2$, la forza viva per quattro istanti successivi, sarà $4+4+4+4=16$, e la forza viva media corrispondente ad un istante sarà 4 invece di 2. Dunque la forza viva di due atomi che si collegano viene raddoppiata. Qual meraviglia pertanto se una combinazione chimica sviluppa una immensa quantità di calorico, se cioè manifestasi un aumento notevole nella forza viva di innumerevoli atomi che si uniscono fra loro? Così una sottile particolarità della teoria dinamica del calorico ci mette in grado di farci un concetto assai verosimile circa la natura della combustione, ed in generale circa l'origine del calorico nelle combinazioni chimiche.

Vi parrà incredibile che nella combinazione di due corpi si raddoppi la quantità di calorico da loro posseduta. Ma l'errore è qui di credere che nel fenomeno si debba raddoppiare il calorico dei corpi che concorrono a produrlo: questo forse non avviene mai o ben di rado. Imperocchè il calorico che si eccita nelle operazioni chimiche può essere accresciuto o diminuito dalla diminuzione o dall'aumento del volume e del calorico specifico delle sostanze che soffrono l'azione chimica, o dal concorso di altre molte e diverse circostanze. Anche l'elettricità può avere un'influenza nel fenomeno e nella quantità di calorico che si sviluppa.

Quanto alla luce che ordinariamente accompagna la combustione, basti notare che dessa ha la medesima origine del calorico; giacchè quando la quantità di forza viva, acquistata dalle molecole nell'atto della loro combinazione, è tale da farle oscillare non solo nel senso calorifico, ma anche nel senso luminoso il fenomeno sarà accompagnato anche dalla luce.

543. **Condizioni e circostanze della combustione.** Dopo ciò, è evidente come le condizioni necessarie al fenomeno della combustione debbono essere le due seguenti, cioè: la presenza dei corpi capaci di combinarsi con sviluppo di calorico e luce; e la temperatura sufficiente alla combinazione dei corpi stessi. Le combustioni ordinarie sono combinazioni dell'ossigeno col carbonio, coll'idrogeno o con altre sostanze semplici; e sebbene d'ordinario i corpi che diciamo combustibili (come le diverse specie di carbone, la legna, le resine, i bitumi, il catrame, gli alcool, gli eteri, gli olj ed i corpi grassi) siano composti, pure queste sostanze abbruciano in quanto che l'ossigeno dell'aria, reagendo sul carbonio e sull'idrogeno, di cui le sostanze stesse sono per la massima parte composte, li trasforma in acido carbonico e vapor acqueo. Quindi è che queste combustioni cessano totalmente, non altrimenti che se mancasse il combustibile, sempre che viene a mancare l'ossigeno, o ciò che è lo stesso quando s'impedisce il contatto fra l'ossigeno ed il combustibile, come accade allorchè il combustibile viene circondato da un involucro impermeabile all'aria, o vi si versa una quantità abbondante di acqua, che oltre a raffreddarlo, gli toglie anche il contatto coll'ossigeno dell'aria. Per rendere incombustibili i corpi si suole imbeverli o rivestirli di sostanze combuste. Una soluzione di silice e di un alcali caustico, stesa a modo di vernice sulle travature ed in genere sui corpi che si vogliono preservare dal fuoco, è utilissima allo scopo, perchè, in caso d'incendio, all'alta temperatura a cui viene portata, si trasforma in uno smalto vitreo che impedisce affatto il contatto dell'aria con questi corpi. Parimenti i tessuti di lino, canape, lana, ecc., la carta, i legni, ecc., imbevuti di una soluzione d'idroclorato, di solfato, di fosfato o di borato d'ammoniaca, divengono relativamente incombustibili, perchè tali sostanze, facili a fondersi, formano attorno a quei corpi un inviluppo che v'impedisce l'accesso dell'aria, ed essendo anche facilmente evaporizzabili, abbassano nell'atto stesso la temperatura. Tutto ciò concorda pienamente colla spiegazione data del fenomeno.

Il medesimo principio rende buon conto anche dell'altra condizione menzionata; giacchè ognuno sa che l'azione chimica fra

due o più sostanze non incomincia che a temperature determinate. Per conseguenza, siccome l'idrogeno ed il carbonio non si uniscono all'ossigeno che a temperature elevate, così per ottenere le ordinarie combustioni del carbone, della legna, della cera, ecc., è necessario di scaldare in qualche parte il combustibile fino a quella temperatura. Cominciato una volta il fenomeno, il calorico prodotto, e comunicato alle parti circostanti, basta a determinare l'operazione chimica anche in queste. Ma sopravvenendo una causa estrinseca di raffreddamento, la combustione può cessare. Per questa cagione il soffio estingue la fiamma di una candela, un carbone acceso si estingue quando vien posto sopra un corpo capace di raffreddarlo molto, ecc.

Esaminiamo ora non più le condizioni, ma le circostanze che spesso accompagnano la combustione, cioè la *fiamma* ed il *fumo*. La fiamma non è altro che un gas divenuto luminoso sotto l'influenza di una temperatura elevata, prodotta dalla combinazione del medesimo gas con un altro corpo, che ordinariamente è l'ossigeno. Al di là dello spazio in cui avviene questa combinazione, il gas cessa di essere luminoso, ed è per questo che la fiamma è limitata. I corpi che abbruciando non formano un prodotto gasoso sono incapaci di dar origine alla fiamma. Se la cera, il sego, l'olio, l'alcool, ecc. s'infiammano è perchè ciò che brucia non sono quelle sostanze allo stato solido o liquido, ma i prodotti aeriformi della loro scomposizione. Ma non sempre, nè tutti i gas prodotti nella combustione di un corpo abbruciano; e ciò avviene perchè essi sono formati da sostanze combuste, o più generalmente perchè manca loro l'ossigeno o la temperatura necessaria per la completa combustione. Queste materie gasose che, senza infiammarsi, precedono, accompagnano o seguono la combustione, od anche la fiamma di un corpo, costituiscono il *fumo*. Da qui è facile intendere come si possa impedire il fumo prodotto dalle materie che sfuggono alla combustione per difetto di ossigeno o di temperatura: basta dirigere sulla fiamma una corrente d'aria che somministri alla materia gasosa l'ossigeno sufficiente alla combustione totale di essa. Ciò si può ottenere con diversi mezzi: nelle lucerne ordinarie si raggiunge l'intento circondando la fiamma con un caminetto di vetro. La forma di questo caminetto e la sua disposizione relativamente alla fiamma hanno molta influenza sulla intensità della luce.

544. **Misura della quantità di calorico sviluppato in una combustione.** A misurare poi la quantità di calorico sviluppato nelle singole combustioni, furono imaginati ingegnosissimi apparecchi, fra i quali meritano una particolare de-

scrizione i calorimetri di Lavoisier, di Rumfort e di Dulong. Il calorimetro di Lavoisier e Laplace consta di tre recipienti di latta posti l'un dentro l'altro, e separati da due intervalli, che si riempiono di ghiaccio in minuzzoli, con gli opportuni artifizj, affinchè l'acqua che scola dall'uno e dall'altro intervallo venga raccolta separatamente (fig. 507). Nel recipiente centrale si pongono i corpi dai quali deve essere irradiato il calorico che vuol misurarsi. Questo calorico, trasmesso alle pareti del vaso ed al ghiaccio contiguo, ne fonde una più o meno grande quantità: si raccoglie l'acqua che ne risulta, e questa serve a misurarlo. Nè vi ha pericolo che il calorico de' corpi esteriori concorra a questa fusione, essendo ciò impedito dal ghiaccio esterno. Per rendere poi continua la combustione, si aggiungono allo strumento due tubi, l'uno dei quali serve per condurre nella capacità più interna l'aria destinata a mantenerla, e l'altro a ricondur fuori i prodotti gasosi della combustione medesima. Amendue questi tubi sono circondati da ghiaccio, affinchè l'aria entri, ed i gas prodotti escano a 0°. L'acqua ottenuta dalla fusione del ghiaccio pel passaggio dell'aria nel primo tubo si trascura; invece deve essere raccolta con diligenza quella che nasce dalla fusione del ghiaccio pel passaggio della massa gasosa nel secondo tubo, poichè questa è dovuta al calorico che si sviluppa durante l'esperienza. L'apparecchio è perciò disposto in maniera che il secondo tubo fa parte della capacità che sta intorno al recipiente più interno, girando nel ghiaccio, che riempie la medesima capacità.

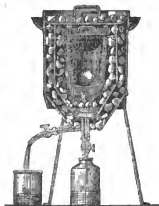



Fig. 507.

Il calorimetro di Rumfort consiste in una cassa di latta o di rame sottile, della lunghezza di 23 centimetri sopra 12 centimetri di larghezza ed altri 12 di profondità, la quale si riempie con una massa d'acqua distillata, di noto peso. Un termometro, che entra verticalmente nella cassa dalla parete superiore, indica ad ogni istante la temperatura dell'acqua; un serpentino di metallo molto sottile, di forma rettangolare, avente 4 centimetri di larghezza sopra 18 millimetri di spessore, si apre al dissotto della cassa in forma d'imbuto e penetra nell'interno di essa, ove si piega e ripiega molte volte. Per misurare la quantità di calorico svilup-

pato, per esempio, nella combustione della cera, si pesa una candela, la si accende e la si pone ad ardere sotto l'apertura dell'imbuto già descritto. I prodotti della combustione si elevano rapidamente, percorrono le eliche del serpentino, vi depositano l'eccesso del loro calore, e sortono alla temperatura dell'acqua del calorimetro. Al principio dell'esperienza la temperatura dell'apparato deve essere per 5 ovvero 6 gradi minore della temperatura ambiente, ed alla fine essa diviene di 5 o 6 gradi a quella superiore. Conosciuto il peso del calorimetro e la capacità pel calorico della materia onde è costrutto, determinato il peso dell'acqua contenutavi, ed il grado di temperatura alla quale venne riscaldata; misurato infine il peso della cera abbruciata, si può determinare col calcolo, facendo le convenienti correzioni, la quantità di calorico che sviluppa 1 grammo di cera abbruciando nell'aria. Lo stesso processo si applica alla combustione d'ogni altra sostanza. La tavola seguente contiene i risultati ottenuti da Rumfort, Lavoisier, Laplace e Despretz.

Nomi delle sostanze	Calorie sviluppate da 1 gr. di sostanza	Nomi degli esperimentatori
Idrogeno	23352	Lavoisier e Laplace
»	23640	Despretz
Olio di oliva	11766	Lavoisier e Laplace
»	9044	Rumfort
Cera bianca	10500	Lavoisier e Laplace
»	9479	Rumfort
Olio di colza depurato	9307	»
Sego	8369	»
»	7586	Lavoisier e Laplace
Etere solforico	8030	Rumfort
Fosforo	7900	Lavoisier e Laplace
Carbone	7626	»
»	7915	Despretz
Nafta	7338	Rumfort
Alcool a 42° di Beaumé	6195	»
» a 33°	5261	»
Legno secco	4314	»

Il calorimetro di Dulong risulta da un recipiente di metallo sottile, completamente circondato dall'acqua contenuta in un secondo vaso chiuso. In questo recipiente è introdotta già accesa la sostanza da abbruciare: l'ossigeno necessario alla combustione vi arriva da un tubo laterale; ed i prodotti gasosi della combustione stessa, dopo essersi raffreddati nel passaggio di un serpentino, immerso parimenti nell'acqua dell'apparato, vanno a raccogliersi in un gasometro. Il calorico sviluppato nel fenomeno anche qui si misura dal riscaldamento prodotto nell'acqua. La tavola seguente contiene i risultati delle esperienze di Dulong.

SOSTANZE	Calorico prodotto			
	da 1 litro di combustibile	da 1 grammo di combustibile	con 1 litro di ossigeno	con 1 grammo di ossigeno
Idrogeno	3106	34601	6212	4325
Gas delle paludi	9587	13350	4793	3337
Ossido di carbonio	3130	2490	6260	4358
Gas oleofaciente	15338	12203	5113	3560
Alcool assoluto	14375	6962	4792	3336
Carbone	3929	7295	3929	2735
Essenza di trementina	70607	11567	5043	3511
Etere solforico	33353	10042	5770	3878
Cianogeno	12270	5244	6135	4271
Olio di oliva	»	9862	»	»
Solfo	»	2601	»	2600
Ferro	»	»	6216	4327
Stagno	»	»	6508	4531
Protossido di stagno	»	»	6477	4509
Rame	»	»	3722	2591
Protossido di rame	»	»	3130	2179
Antimonio	»	»	5484	3818
Zinco	»	»	7577	5275
Cobalto	»	»	5721	3983
Nichelio	»	»	5823	3706

Favre e Silbermann hanno esteso la ricerca del calorico prodotto nelle combustioni ad una serie molto grande di corpi con una sagacia ed una costanza tale da togliere ogni dubbio sulla esattezza dei risultati, che noi riportiamo nella tavola seguente.

NOMI DELLE SOSTANZE	Formole	Quantità di calorico sviluppato da 1 grammo di combustibile
Grafite naturale		7811,5
Diamante		7770,1
Gas delle paludi	C^2H^4	13063,0
» oleofaciente	C^4H^4	11857,8
Paramilena	$C^{10}H^{10}$	11491,0
Amilena	$C^{20}H^{20}$	11303,5
Cetena	$C^{32}H^{32}$	11078,5
Metamilena	$C^{40}H^{40}$	10928,5
Etere solforico	$HO^2 + C^8H^8$	9027,0
» valerico	$HO^2 + C^{20}H^{20}$	10188,0
Spirito legnoso	$HO^2 + C^2H^2$	5301,5
Alcool di vino	$HO^2 + C^4H^4$	7184,5
» valerico	$HO^2 + C^{10}H^{10}$	8958,6
» etalico	$HO^2 + C^{32}H^{32}$	10629,2
Acetone	$C^6H^6 + O^2$	7303,0
Aldeida etalica	$C^{32} + H^{32}O^2$	10342,2
» stearica	$C^{38}H^{38}O^2$	10496,0
Formiato di metilena	$C^4H^4O^4$	4197,4
Acetato di metilena	$C^6H^6O^4$	5342,0
Formiato di alcool	$C^6H^6O^4$	5279,0
Etere acetico	$C^8H^8O^4$	6292,7
Buttirato di metilena	$C^{50}H^{10}O^4$	6798,5
Etere buttirico	$C^{12}H^{12}O^4$	7090,9
Valeriato di metilena	$C^{14}H^{14}O^4$	7375,5
» di alcool	$C^{14}H^{14}O^4$	7834,9
Acetato d'alcool valerico	$C^{20}H^{20}O^4$	7271,2
Etere valeriamilico	$C^{20}H^{20}O^4$	8543,6
Acido formico	$O^4 + C^2H^2$	2000,0
» acetico	$O^4 + C^4H^4$	3505,2
» buttirico	$O^4 + C^8H^8$	5623
» valerico	$O^4 + C^{10}H^{10}$	6439
» etalico	$O^4 + C^{32}H^{32}$	9420
» steарico	$O^4 + C^{38}H^{38}$	9820
» frenico	$C^{12}H^6O^2$	7842,3
Terebina	$C^{20}H^{16}$	10663
Essenza di trementina	$C^{20}H^{16}$	10852
» di cedro	$C^{20}H^{16}$	10959,0
Solfo nativo o fuso		2221,1
» cristallizzato all'istante		2258,4
Solfuro di carbonio		3400,5

545. **Circostanze che fanno variare la quantità di calorico prodotto in un tempo determinato dalla combustione di un corpo**. La quantità di calorico prodotta nella combustione di un corpo dipende da parecchie circostanze, cioè: 1.° dalla natura delle sostanze che si combinano; 2.° dalla loro densità; e 3.° dalla rapidità colla quale la combinazione stessa si effettua. Tutti sanno che abbruciando corpi diversi si ottiene un riscaldamento diverso; e le tavole precedenti ci indicano anche il valore di queste differenze in molti casi. Come è naturale, ciò avviene tanto che varii l'uno, quanto che muti l'altro dei due corpi che si combinano, ed abbiamo già, per esempio, osservato (302 e 308) che un cerino acceso arde con molto più di attività nell'ossigeno che nel cloro. L'esperienza mostra anche che dalla combustione di una medesima sostanza si ottiene una temperatura tanto più elevata quanto maggiore ne è la densità. Così il carbone di legno pesante produce un riscaldamento maggiore di quello che si ha dalla combustione del carbone preparato con legno leggero. La terza condizione è di piena evidenza; giacchè, essendo sempre l'effetto proporzionale alla causa, è manifesto che alla rapidità dell'operazione chimica deve corrispondere un rapido sviluppo di calorico, e quindi aumentare anche il riscaldamento ottenuto nell'unità di tempo. Le temperature delle ordinarie combustioni pertanto si elevano o si abbassano a seconda della quantità di ossigeno che loro viene somministrato. Da qui l'uso dei soffietti e dei mantici, che spingono una corrente d'aria nuova in contatto del combustibile. Siccome però la pronta rinnovazione della corrente aerea, se per una parte avviva la combustione, per l'altra, abbassando la temperatura, la scema in modo da spegnerla talora anche totalmente, così nelle fornaci e nei forni ove si debbano liquefare i metalli più refrattarj, come il ferro, l'oro, ecc., s'introducono correnti d'aria già prima riscaldata ad alta temperatura. Così i fabbri ferraj usano di spruzzare con acqua calda o tiepida i carboni roventi, onde avere un fuoco più intenso, giacchè quell'acqua risolvendosi ne' suoi elementi fornisce alla combustione ossigeno ed idrogeno, senza abbassarne la temperatura.

546. **Calorico sviluppato nelle combinazioni per via umida**. Venendo ora alle combinazioni per via umida, è certo che anch'esse sono origine di calorico, come le altre composizioni chimiche; ma ognuno s'accorge che qui gli effetti calorifici sono notevolmente modificati da altri fenomeni, quali sono i cangiamenti di stato dei corpi che si combinano, l'unione del composto coll'acqua, le variazioni di caloricità specifica della mescolanza liquida, ecc.

Per darne un'idea sufficiente, cominceremo dall'esporre i risultati delle esperienze fatte circa questa materia da Hess, Andrews, Graham, Favre e Silbermann. Hess studiò le combinazioni dell'acqua coll'acido solforico, e dei diversi acidi con differenti basi; Andrews esaminò particolarmente le azioni reciproche degli acidi e delle basi; Graham si occupò delle combinazioni dei sali e dei diversi acidi coll'acqua; Favre e Silbermann fecero moltissime esperienze su tutte queste combinazioni per via umida, e la loro opera diverrà forse feconda delle più belle conseguenze circa le leggi di questi fenomeni.

I. *Calorico sviluppato nell'idratazione di parecchi sali.*

Sale per 1 grammo in un eccesso d'acqua	Calorie
Solfato di potassa	35,3
» di soda	49,1
» di ammoniaca	11,1
» di calce	24,7
» di barite	64,4
» di zinco	14,8
» di prot. di ferro	12,1
» di uranile (anidro)	10,7
» di potassa e acqua	25,6
» di potassa e allumina	23,1
» di potassa e protossido di ferro	21,5
» di ammoniaca e allumina	19,0
Nitrato di potassa	70,5
» di soda	45,5
» di ammoniaca	65,9
» di calce	27,1
» di stronziana	41,2
» di piombo	14,9
» di argento	31,1
Acetato di soda	28,1
» di calce	3,5
» di piombo	14,8
» di potassa e acqua	19,3

Sale per 1 grammo in un eccesso d'acqua	Calorie
Carbonato di soda	32,7
» di potassa e acqua	31,5
Fosfato di soda	32,3
Ipofosfato di soda	21,9
Ossalato di soda	39,7
» di acqua	67.0
» di potassa e acqua	62,1
Tartrato di soda	23,2
» di potassa	17,3
» di acqua	19,8
» di potassa e soda	40,9
Cloruro di potassio	31,9
» di sodio	8,9
» di ammonio	65,1
» di calcio	15,5
» di bario	16,9
» di stronzio	24,9
» di zinco (anidro)	92,2
» di ferro (anidro)	58,3
Bicloruro di rame (anidro)	73,7
Bromuro di potassio	37,8
Ioduro di potassio	29,2
Solfuro di potassio (anidro)	96,9

II. *Calorico sviluppato nell' idratazione dell' acido solforico* (*secondo* Graham).

Composizione dell' acido	Elevazione di temperatura	Differenza
$H^2O\ SO^3$	3°,86	
Id + H^2O	2°,39	1°,47
Id + $2H^2O$	1°,86	0°,53
Id + $3H^2O$	1°,30	0°,50
Id + $4H^2O$	1°,06	0°,34
Id + $5H^2O$	0°,87	0°,19
Id + $7H^2O$	0°,68	0°,19

Il peso dell'acido in questi esperimenti fu di $^1/_{30}$ di equivalente.

III. *Calorico sviluppato nella formazione dei diversi sali* (*secondo* Favre e Silbermann).

Nome della base nella quantità di 1 grammo	Calorie sviluppate nella combinazione della medesima base con			
	Acido solforico	Acido azotico	Acido cloridrico	Acido acetico
Potassa	342	230	333	297
Soda	320	493	493	439
Ammoniaca	363	327	320	486
Barite	270	202	201	174
Stronziana	»	»	279	»
Calce	670	603	606	524
Magnesia	724	642	661	613
Protossido di ferro	307	268	273	238
» di manganese	346	310	321	283
» di zinco	253	203	202	188
» di cobalto	310	262	273	244
» di nikelio	316	273	274	243
» di rame	194	159	160	131
« di cadmio	160	127	128	118
» di piombo	102	82	101	64
» di argento	89	83	198	»
Allumina	644	»	»	»
Sesquiossido di ferro	249	»	»	»

Andrews avrebbe stabilite le seguenti leggi:

1.° *Legge degli acidi.* Gli equivalenti dei diversi acidi, combinati ad uno ad uno colla medesima base, producono presso a poco la stessa quantità di calorico.

2.° *Legge delle basi.* Gli equivalenti delle differenti basi, combinati ad uno ad uno collo stesso acido, sviluppano differenti quantità di calorico.

3.° *Legge dei sali aciduli.* Quando un sale neutro si converte in un sale acidulo, combinandosi con uno o più equivalenti di acido, non immuta per nulla la temperatura.

4.° *Legge dei sali basici.* Quando un sale neutro si trasforma in un sale basico, la combinazione è accompagnata da uno sviluppo di calorico.

In ordine alla seconda legge le basi furono classificate nella serie seguente: magnesia 4,58 +; calce 3,94 +; barite 3,75; potassa 3,62; soda 3,60; ammoniaca 3,07; ossido di zinco 2,75 +; ossido di piombo 2,21 +; ossido d'argento 1,79 +. Il segno +, che tien dietro alle basi insolubili, mostra ch'esse avrebbero potuto ottenere un altro posto nella serie, se si conoscesse il calorico che assorbono nell'istante in cui sciolgonsi sotto l'azione dell'acido.

Queste leggi però di Andrews non sono esatte. La prima legge non si verifica che per gli acidi minerali solubili nell'acqua. Il perossido di mercurio combinandosi coll'acido azotico, e coll'acido acetico sviluppa la stessa quantità di calorico; ma quando si combina cogli acidi cloridrico, cianidrico ed iodidrico, l'elevamento di temperatura è tre, cinque, nove volte più grande. L'acido solforico combinandosi con qualche base sviluppa più calorico che non altri acidi. Gli acidi fosforico ed arsenico offrono parimenti un'eccezione alla terza legge, giacchè i sali da essi formati manifestano un riscaldamento, passando dallo stato neutro allo stato acidulo. Finalmente si è trovato che nello scambio delle basi dei sali neutri, mescolati assieme, non si produce elevazione di temperatura, se ambedue i nuovi sali risultanti restino sciolti nel liquido, ma solo quando uno precipiti allo stato solido.

347. **Effetti calorifici prodotti nelle decomposizioni dei corpi**. Le decomposizioni dei corpi ordinariamente sono accompagnate da un abbassamento di temperatura, e si ammette che in generale nella separazione di due o più corpi scompare tanto calorico quanto se ne sviluppa nella loro combinazione. Ciò non deve sembrar strano a chi si è formato una chiara idea circa l'origine del calorico nelle composizioni chimiche; giacchè se il solo atto di legare assieme due atomi vale a raddoppiare l'effetto della loro forza viva, è manifestissimo che, separandoli

nuovamente, l'effetto della loro unione sarà distrutto, ossia la forza viva posseduta dagli atomi sarà ridotta a metà. Siccome però avviene spesso che qualche corpo, mentre esce da un composto, passa a diverso stato fisico od anche si unisce a qualche altra sostanza, per stabilire precisamente qual debba essere il risultato finale, bisogna tener conto esatto di tutti i fenomeni che accompagnano l'azione chimica. Le esperienze di Favre e Silbermann provano che un grammo d'ossido d'argento si decompone con una perdita affatto insignificante di calorico (22,1 calorie); ed invece nella decomposizione dell'acqua ossigenata havvi un notevole elevamento di temperatura: ad ogni grammo di ossigeno fatto libero corrisponde uno sviluppo di calorico di 1303 calorie. Babinet (*Comp. Rend.*, 22 ottobre 1866), tenendo calcolo delle sintesi intime che avvengono in queste due operazioni chimiche, spiega ottimamente la cosa secondo i principj della teoria dinamica del calorico. L'ossigeno e l'argento, dice questo membro egregio dell'Accademia di Parigi, sono biatomici; quindi nella decomposizione di una molecola d'ossido d'argento (similmente biatomico), dovrà avvenire: 1.° il distacco di un mezzo atomo d'argento da un mezzo atomo d'ossigeno; 2.° la separazione della seconda metà dell'atomo d'argento dall'altro mezzo atomo d'ossigeno; 3.° l'unione delle due metà d'argento; e 4.° l'unione dei due mezzi atomi d'ossigeno. Così le due prime operazioni compensano le altre due, e la temperatura rimane presso che costante. La piccola quantità di calorico sviluppato sarà indizio che il legame biatomico nell'atomo dei due corpi semplici non ha la stessa energia che nella molecola del composto. Nè meno felice è la spiegazione, data dallo stesso dotto, del calorico ottenuto nella decomposizione dell'acqua ossigenata. Egli mostra che quattro molecole di acqua ossigenata, decomponendosi, danno origine a tre molecole, delle quali due sono di acqua ed una di ossigeno; sicchè si manifesta un aumento di forza viva, ossia rimane libera una quantità di calorico, che prossimamente corrisponde a quella indicata dall'esperienza.

Un'altra cosa che non bisogna perdere di vista nell'eseguire simili calcoli, è che qualchevolta si ottiene nei corpi uno sviluppo di calorico anche senza azione chimica, e pel semplice passaggio da uno stato molecolare ad un altro. Lo solfo e l'aragonite ce ne offrono un esempio. Mitscherlich ha trovato che quando lo solfo cristallizzato in prismi si trasforma in solfo ottaedrico (54) sviluppa per ogni grammo 2,27 calorie. Anche il cangiamento di struttura dell'aragonite è accompagnato da produzione di calorico: ad ogni grammo corrispondono 39,1 calorie.

CAPO SECONDO

EFFETTI FISICI DEL CALORICO.

548. **Effetti generali del calorico.** Dopo d'aver esposto quanto di più importante si conosce circa le sorgenti del calorico, passiamo a studiare gli effetti ch'esso produce nei corpi. Il calorico è un agente universale, della cui benefica influenza partecipano tutti gli esseri che costituiscono il regno della natura. Se la nostra terra moltiplica fedele i grani che la mano del contadino depone nel seno di essa, e rivestita delle sue bellezze torna ogni anno a sorridere a noi che l'abitiamo, è per beneficio del calorico che il sole le invia. L'azione del calorico è necessaria alla nostra vita ed allo sviluppo di tutti gli esseri organici. Le parti del globo terrestre ove i raggi solari non arrivano che indeboliti, languiscono in uno stato desolante: i viaggiatori vi riscontrano solo immensi ammassi di nevi e di ghiacci, quà e là qualche piccolo vegetale, e qualche animale privilegiato che va errando in quelle solitudini glaciali, quasi per attestare la sorprendente varietà della natura e la potenza dell'Autore di essa. Nè gli esseri organizzati sono i soli che manifestano l'influenza del calorico. La chimica ci mostra quali mirabili effetti possa produrre il calorico nelle combinazioni e nelle decomposizioni dei corpi inorganici. Tutti sanno che dal calorico dipende in generale lo stato dei corpi: e per esso i solidi si liquefanno, ed i liquidi passano allo stato aeriforme. Così per l'azione di questo principio le acque del mare, passando allo stato gasoso, si sollevano nelle più alte regioni dell'atmosfera, dove condensandosi nuovamente danno origine a quelle benefiche pioggie che fecondano il continente. L'oceano atmosferico è messo in moto, e quindi rinnovellato per la presenza del calorico. L'industria finalmente fece le più felici applicazioni degli effetti del calorico, ed i progressi di moltissime arti dipendono dalla profonda cognizione delle proprietà di questo agente meraviglioso.

I menzionati effetti del calorico sono chimici o fisici. Dei primi ci siamo abbastanza occupati nella chimica; ora non piglieremo a studiare che i secondi.

Gli effetti fisici, che il calorico produce nei corpi, si riducono a due soli, cioè ai cambiamenti di volume ed alle mutazioni di stato. Il primo fenomeno si può considerare nei solidi, nei liquidi o negli aeriformi; ed il secondo può consistere nel passaggio di un solido allo stato liquido, o di un liquido allo stato

solido, ovvero nella trasformazione di un liquido in gas, o di un gas in liquido. Pertanto nei primi cinque articoli di questo capo diremo singolarmente di queste cose, e nell'ultimo esporremo le applicazioni della tensione dei gas.

ARTICOLO PRIMO

CAMBIAMENTI DI VOLUME DEI SOLIDI.

549. **Quali siano i cambiamenti di volume che il calorico produce nei corpi.** Abbiam già detto (12) che tutti i corpi si dilatano se riscaldati, e si condensano quando vengono raffreddati. Per semplicità di discorso si studia solo la dilatazione; giacchè le leggi di questa sono identiche a quelle della contrazione.

Dilatazione — coefficiente di dilatazione. Quando un corpo è scaldato, se non incontra ostacoli, si dilata secondo tutte e tre le sue dimensioni. Ma è chiaro che si può, ed il più delle volte giova, studiare la dilatazione che avviene in un senso isolatamente da quella che si compie in un altro verso; e quindi i fisici distinguono la dilatazione *lineare*, *superficiale* e *cubica*. Chiamasi poi *coefficiente* di *dilatazione lineare*, *superficiale* o *cubica* di un corpo la quantità di cui aumenta ciascuna unità di lunghezza, di superficie o di volume del corpo stesso, allorchè se ne eleva la temperatura da 0° ad 1°; ossia il rapporto numerico fra l'aumento prodotto in una di queste quantità dal passaggio del corpo da 0° ad 1°, e il valore primitivo della medesima quantità. Perciò, rappresentando con l la lunghezza, per esempio, di una spranga metallica alla temperatura 0°, con b la quantità di cui essa si allunga passando da 0° ad 1°, e con n il coefficiente di dilatazione lineare, avremo $n = \frac{b}{l}$. Parimenti chiamando s la superficie del corpo a 0°, c la differenza fra questa superficie e quella ad 1°, e p il coefficiente di dilatazione superficiale, avremo $p = \frac{c}{s}$. Così si avrà anche la relazione $m = \frac{a}{v}$, qualora si esprima con m il coefficiente di dilatazione cubica del corpo, con v il volume di esso a 0°, e con a l'aumento di volume che mostra quando si scalda da 0° ad 1°.

Le quantità n, p, m si chiamano coefficienti perchè moltiplicando per esse i numeri che rappresentano le lunghezze

primitive, si ottengono le corrispondenti dilatazioni: dalle formole $n = \frac{b}{l}$; $p = \frac{c}{s}$; $m = \frac{a}{v}$, si hanno le altre $n \cdot l = b$; $p \cdot s = c$; $m \cdot v = a$.

Relazioni fra i diversi coefficienti di dilatazione. Prima di passare ad altro, possiamo notare alcune relazioni che esistono fra i diversi coefficienti di dilatazione d'una medesima sostanza. *Il coefficiente di dilatazione superficiale è doppio del coefficiente di dilatazione lineare.* Supponiamo che l sia il lato di una superficie quadrata: rappresentando con n il coefficiente di dilatazione lineare del corpo in questione, è noto che qualora se ne alzi la temperatura da 0° ad 1°, il lato diviene $l + ln$. Epperò se la superficie quadrata prima del riscaldamento era l^2, dopo diverrà $(l + ln)^2 = l^2 + 2nl^2 + l^2n^2$. Essendo n una quantità piccolissima, il termine che contiene n^2 può essere trascurato. Quindi la superficie dopo il riscaldamento sarà espressa da $l^2 + 2nl^2$; e l'effetto del riscaldamento stesso da $2nl^2$. Per conseguenza il coefficiente di dilatazione superficiale sarà $\frac{2nl^2}{l^2} = 2n$, il quale appunto è doppio del coefficiente di dilatazione lineare n. *Il coefficiente di dilatazione cubica è triplo del coefficiente di dilatazione lineare.* Infatti, scaldando per 1° un cubo di lato l, questo lato diviene $l + nl$, come abbiam già visto, essendo n il coefficiente di dilatazione lineare. Il volume del cubo avanti il riscaldamento era l^3, dopo di esso sarà $(l + nl)^3 = l^3 + 3nl^3 + 3n^2l^3 + n^3l^3$. Ma essendo n una quantità frazionaria piccolissima, i termini che contengono le potenze di n si omettono senza errore; quindi si può prendere per misura del volume del corpo, dopo il riscaldamento, l'espressione $l^3 + 3nl^3$. Onde l'incremento di volume prodotto dal riscaldamento è $3nl^3$, e $\frac{3nl^3}{l^3}$, ossia $3n$, è il coefficiente di dilatazione cubica. Finalmente, *il coefficiente di dilatazione superficiale è eguale ai due terzi del coefficiente di dilatazione cubica.* Diffatti, se $p = 2n$, ed $m = 3n$, ossia $n = \frac{p}{2}$ ed $n = \frac{m}{3}$, sarà anche $\frac{p}{2} = \frac{m}{3}$, da cui avremo $p = \frac{2}{3}\ m$.

Ora i fisici indicano la diversa dilatabilità dei corpi con un'altra espressione, che meglio concorda colla maniera generalmente adottata di studiare gli altri effetti dal calorico prodotti nei corpi. Analogamente alle caloricità specifiche a volume, ossia alle caloríe di temperatura, qui considerano *le caloríe di dilatazione* dei diversi corpi solidi e liquidi, cioè le caloríe necessarie a produrre eguali aumenti di volume in ciascun d'essi,

presi a volumi iniziali identici. Suppongono presi i diversi corpi sotto l'unità di volume, e ad una medesima temperatura, e determinano le calorie che producono l'incremento di 0,0001 del volume stesso. È evidente che in tale supposto l'aumento di temperatura per ognuno di questi corpi sarà inversamente proporzionale al coefficiente della dilatazione cubica di esso, e le calorie di dilatazione si otterranno dividendo le loro calorie di temperatura dell'unità di volume pel detto coefficiente moltiplicato da 10000.

550. **Formole — dilatazione uniforme.** Le accennate relazioni fra i coefficienti di dilatazione d'una sostanza ci mettono in grado di stabilire una formola, che ci gioverà moltissimo per conoscere in pratica i cangiamenti delle dimensioni d'un corpo, esposto ad una determinata temperatura. L'esperienza prova che per la maggior parte dei corpi la dilatazione è uniforme fra 0° e 100°, cioè che entro questi limiti l'aumento di volume è proporzionale all'elevamento di temperatura, sicchè dicendo b la quantità di cui s'accresce la lunghezza di una spranga che passa da 0° ad 1°, passando da 1° a 2° l'allungamento sarà rappresentato da $2b$, elevandosi da 2° a 3° da $3b$, ecc., ed in generale aumentando di t gradi la temperatura, l'allungamento sarà espresso da tb; e per conseguenza chiamando l la lunghezza della spranga a 0°, od alla temperatura primitiva, ed l' la lunghezza totale alla temperatura t, si avrà $l' = l + tb$, ossia, per essere $b = nl$, $l' = l + tnl = l\ (1 + tn)$.

Ognuno s'accorge facilmente che per mezzo di questa formola, date tre delle quantità che la costituiscono, si può a colpo d'occhio conoscere la quarta; ossia che dalla esposta formola si possono dedurre le altre $l = \frac{l'}{1 + nt}$; $t = \frac{l' - l}{nl}$; $n = \frac{l' - l}{tl}$.

Con tutto ciò, chi riflette alle condizioni della formola stabilita, ben s'avvede ch'essa serve all'intento appena quando si conosca la lunghezza della spranga a 0°. Epperò chi avesse il desiderio d'avere una formola opportuna per determinare l'allungamento della spranga che passa da una temperatura qualunque ad un'altra, dovrà fare un secondo calcolo poco diverso dal primo. Indicando con l'' la lunghezza corrispondente ad un'altra temperatura t', si avrà $l'' = l\ (1 + nt')$, da cui, sostituendo ad l il valore per essa sopra stabilito, si deduce:

$$l'' = \frac{l'}{1 + nt} \times \left(1 + nt'\right) = l' \left(\frac{1 + nt'}{1 + nt}\right).$$

Dividendo $1 + nt'$ per $1 + nt$, si ottiene $1 + nt' - nt$, col residuo $n^2t^2 - n^2tt'$. Perciò, tralasciando i termini che contengono il quadrato di n, possiamo assumere come quoziente esatto di quella divisione la quantità $1 + nt' - nt$; quindi avremo $l'' = l'(1 + nt' - nt)$, ossia $l'' = l'(1 + n(t' - t))$.

Questa formola giova a sapere anche la temperatura a cui il corpo venne esposto, od il coefficiente di dilatazione che corrisponde al corpo stesso, quando si conoscano tutte le altre quantità; giacchè dalla equazione $l'' = l'(1 + nt' - nt)$, che sviluppata piglia la forma $l'' = l' + nl't' - nl't$, si ponno avere le altre due: $t' = \frac{l'' + nl't - l'}{nl'}$; ed $n = \frac{l'' - l'}{l't' - l't}$.

Con un ragionamento analogo si stabiliscono anche le formole pel calcolo delle dilatazioni superficiale e cubica. Per esempio, ammessa l'uniformità di dilatazione, e chiamando v' e v'' i volumi corrispondenti a due differenti temperature t, t', si avranno per la dilatazione cubica le due relazioni $v' = v(1 + mt)$, e $v'' = (1 + m(t' - t))$, somiglianti a quelle che abbiamo trovate per le dilatazioni lineari, dalle quali si possono estrarre i valori di t', di m, ecc.

Dilatazione non uniforme. Quando la dilatazione cessa di essere uniforme, il coefficiente che gli corrisponde non serve più a farla conoscere; ed allora si cerca il coefficiente medio di dilatazione relativamente alla temperatura a cui il corpo venne esposto. Tale coefficiente è il rapporto fra l'allungamento totale del corpo che passa da 0° ad una temperatura qualunque, ed il numero che rappresenta questa medesima temperatura. Così da 0° a 300° la dilatazione lineare totale del vetro è di $\frac{1}{329}$; quindi il coefficiente medio di dilatazione del vetro per 300° è di $\frac{1}{329 \times 300}$, ossia $\frac{1}{98700}$. Le dilatazioni medie superficiali e cubiche si trovano collo stesso calcolo.

351. **Metodi per misurare la dilatazione dei corpi solidi.** L'uso delle formole sopra stabilite suppone che si conosca il coefficiente di dilatazione lineare del corpo, di cui si vuol sapere l'allungamento, e l'aumento di superficie o di volume. All'intento di determinare questa quantità pei diversi corpi che più spesso occorrono nella pratica, furono imaginati varj metodi. Uno si è quello adoperato da Lavoisier e Laplace in una serie d'esperienze ch'essi fecero insieme. Usavano essi di una vasca rettangolare, riempita d'acqua e posta fra quattro massi

di pietra, sopra un fornello ordinario (fig. 508). Ai due massi di una estremità della vasca era fissa un'asta di ferro, unita ri-

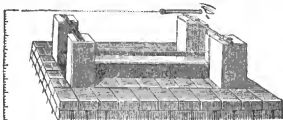



Fig. 508.

gidamente ad una robusta lamina di vetro, che scendeva verticale fin presso al fondo del recipiente; e sugli altri due massi era appoggiato un cilindro parimenti di ferro, capace di rotare intorno al proprio asse, e munito di un cannocchiale, e di una lamina che allo stesso modo della prima si tuffava nell'acqua della vasca. Dentro a quest'acqua, che andavano gradatamente riscaldando, ponevano le barre metalliche che intendevano di cimentare, appoggiandole dall'una delle estremità contro la lamina verticale fissa, affinchè l'allungamento delle barre si manifestasse tutta dalla estremità opposta, che si trovava a contatto coll'altra lamina verticale. Per tale disposizione, quest'ultima lamina (fig. 509)

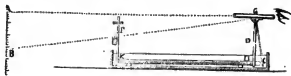



Fig. 509.

veniva spostata per quanto si allungava la barra nella vasca, e faceva rotare l'asta, a cui era unita, ed il cannocchiale dirizzato verso una lontana scala graduata; il quale pertanto mostrava nel mezzo del suo campo or l'una or l'altra divisione, secondo che veniva più o men piegato dalla dilatazione del metallo. Si intende facilmente come dal numero delle divisioni passate pel centro del cannocchiale durante un riscaldamento determinato, si poteva dedurre l'aumento prodotto nella lunghezza del corpo.

Ramsdem, invece d'ingrandire per mezzo di movimenti secondarj l'effetto della dilatazione (il che poteva produrre qualche inconveniente, a cagione degli sfregamenti e dell'elasticità dei metalli), procurava di rendere più delicato il modo di misurarlo.

Faceva egli che dalle estremità della barra riscaldata sorgessero perpendicolarmente fuori del bagno due aste, e misurava con ogni diligenza, per mezzo di microscopj, l'allontanamento delle sommità di queste.

Dulong e Petit, riflettendo che, quando dalla dilatazione lineare si deduce la dilatazione cubica, si moltiplicano gli errori, che per l'incertezza dell'esperienza possono modificare l'esattezza del risultato, giudicarono più opportuno misurare praticamente la dilatazione cubica e da questa dedurre l'altra, giacchè così facendo il divario fra il valore reale e quello ottenuto nella esperienza viene diviso per tre, e quindi diminuito e non accresciuto. A questo intento idearono diversi processi ingegnosi e facili. Uno fra questi, il quale servì per la dilatazione del vetro, è il seguente. Riempirono essi di mercurio un tubo di vetro di molta capacità, e terminato superiormente con un altro tubo più sottile ed aperto. Espostolo quindi al calore, osservavano quanto mercurio ne usciva, e dalla cognizione della dilatazione del mercurio (di cui parleremo più innanzi), determinavano col calcolo quanto avrebbe dovuto uscirne se il vaso fosse stato inestensibile. È manifesto che la differenza mostrava quanto fosse cresciuta la capacità del vetro per quell'aumento di temperatura.

Per misurare la dilatazione del ferro, Dulong e Petit usarono un altro metodo: voi stessi potreste ripeterlo facilmente. In un tubo di vetro ponete un cilindro di ferro di conosciuto volume, e chiudetelo con un turacciolo traversato da una piccola cannetta, per cui lo si riempie in seguito di mercurio, ed esce nuovamente una parte di questo liquido, quando il tutto viene esposto al fuoco. Tenete conto esatto della capacità del vaso, del volume del mercurio introdotto, e della dilatazione dell'uno e dell'altro prodotta da un riscaldamento determinato: dal confronto tra la quantità di mercurio che avrebbe dovuto uscire dal vaso qualora il ferro fosse inestensibile, e quella che vi esce di fatto, conoscerete la dilatazione cubica del noto volume di ferro. Dulong e Petit servironsi del medesimo processo anche pel rame, facendone ossidare leggermente la superficie per renderlo inattaccabile dal mercurio.

Un terzo metodo ch'essi adoperarono è di preparare due barre di diversa natura, dell'una delle quali si conosca la legge di dilatazione, e l'altra sia quella da sottoporre all'esperienza. Queste due barre sono poste l'una sull'altra, in tutta la loro lunghezza, e sono congiunte in maniera invariabile ad una delle estremità, mediante una robusta spranga di ferro, alla quale aderiscono, tenute in saldo con forti viti di pressione.

Ciascuno di tali regoli porta all'altra estremità una lamina di ottone, che si eleva prima verticale, e poi piegandosi ad angolo retto torna orizzontale. Le parti orizzontali di queste due appendici possono scorrere l'una sopra l'altra, quando i regoli si allungano inegualmente. Oltre a ciò, ognuna delle parti orizzontali nelle appendici è divisa in parti eguali molto piccole, in maniera che 20 divisioni dell'una corrispondano, per esempio, a 19 dell'altra, cosicchè se le divisioni di quest'ultima fossero ciascuna di $^1/_5$ di millimetro, si potrà, mediante la coincidenza di alcune di esse con altre della seconda lamina, misurare $^1/_{20}$ di $^1/_5$ di millimetro, ossia $^1/_{100}$ di millimetro di differenza fra le lunghezze dei due regoli esposti ad una medesima temperatura. Dopo ciò, conoscendosi la dilatazione lineare e la lunghezza primitiva di uno dei due regoli stessi, è cosa facile il dedurre anche la dilatazione lineare della sostanza componente l'altro regolo.

La tavola seguente contiene i risultati delle principali esperienze istituite circa tale soggetto dai più abili esperimentatori.

TAVOLA DELLE DILATAZIONI CUBICHE DEL VETRO DA 0° A 100°.

Nome dello sperimentatore	Diverse specie di vetro	Dilatazione
Dulong e Petit	Vetro ordinario	0,002583
Despretz	» »	0,002580
Rudberg	» »	0,002286
Magnus	» »	0,002547
Regnault	Vetro bianco in tubi	0,002648
»	» soffiato in bolle di 46mm di diametro	0,002592
»	Vetro verde in tubi	0,002299
»	» soffiato in bolle di 36mm di diametro	0,002132
»	Vetro di Svezia in tubi	0,002363
»	» soffiato in bolle da 34mm di diametro	0,002441
»	» soffiato in bolle di 32mm di diametro	0,002411
»	Vetro infusibile francese in tubi	0,002142
»	» soffiato in bolle di 32mm di diametro	0,002242
»	Cristallo ordinario in tubi	0,002101
»	» soffiato in bolle di 39mm di diametro	0,002330

TAVOLA DELLE DILATAZIONI LINEARI DEI SOLIDI.

Nome delle sostanze	Intervallo di temperatura		Dilatazione in frazioni: Decimali	Comuni
Secondo Lavoisier e Laplace.				
Flint-glass inglese	0° a	100°	0,00081166	1/1248
Platino (secondo Borda)	»	»	0,00085655	1/1167
Vetro di Francia con piombo	»	»	0,00087199	1/1147
Tubo di vetro senza piombo	»	»	0,00087572	1/1142
» »	»	»	0,00091750	1/1090
Acciajo non temperato	»	»	0,00107880	2/927
» »	»	»	0,00107690	1/926
» temperato giallo incrudito a 65°	»	»	0,00123956	1/807
Ferro dolce lavorato	»	»	0,00122045	1/819
» passato alla filiera	»	»	0,00123504	1/812
Oro di spartimento	»	»	0,00146606	1/682
» al titolo di Parigi incrudito	»	»	0,00151361	1/661
» non incrudito	»	»	0,00155155	1/645
Rame	»	»	0,00171220	1/584
»	»	»	0,00172240	1/581
Ottone	»	»	0,00186670	1/535
»	»	»	0,00188970	1/529
Argento al titolo di Parigi	»	»	0,00190888	1/524
» di copella	»	»	0,00190974	1/524
Stagno delle Indie	»	»	0,00193765	1/516
» di Falmouth	»	»	0,00217298	1/462
Piombo	»	»	0,00284836	1/351
Secondo Smeaton.				
Vetro bianco (tubi di barometro)	0° a	100°	0,00083333	1/1175
Lega marziale di antimonio	»	»	0,00108333	1/923
Acciajo pulito	»	»	0,00115000	1/870
» temperato	»	»	0,00122500	1/816
Ferro	»	»	0,00125833	1/795
Bismuto	»	»	0,00139167	1/719
Rame battuto	»	»	0,00170000	1/588
» 8 parti, stagno 1	»	»	0,00181667	1/550
Ottone fuso	»	»	0,00187500	1/533
» 16 parti, stagno 1	»	»	0,00190833	1/524
Fili di ottone	»	»	0,00193333	1/517
Metallo degli specchi da telescopio	»	»	0,00193333	1/517
Saldat. (con 2 di rame ed 1 di zinco)	»	»	0,00285833	1/486

Nome delle sostanze	Intervallo di temperatura	Dilatazione in frazioni — Decimali	Dilatazione in frazioni — Comuni
Stagno fino	0° a 100°	0,00228333	1/438
» in grani	» »	0,00248333	1/403
Saldatura bianca (stagno 1 parte piombo 2)	» »	0,00250533	1/399
Zinco 8 parti, stagno 1 alquanto lavorato	» »	0,00269167	1/372
Piombo	» »	0,00286667	1/349
Zinco	» »	0,00294167	1/340
» allungato al martello di $^1/_{12}$	» »	0,00310833	1/322
	Secondo **Roy**.		
Vetro in tubi	0° a 103°	0,00077550	1/1289
» in verghe solide	» »	0 00080833	1/1257
Ferro fuso in prismi	» »	0,00111000	1/901
Acciajo in verghe	» »	0,00114450	1/874
Ottone di Hambourg	» »	0,00185550	1/539
» inglese in verghe	» »	0,00189296	1/528
» inglese in forma angolosa	» »	0,00189450	1/528
	Secondo **Troughton**.		
Platino	0° a 100°	0,00091180	1/1008
Acciajo	» »	0,00118990	1/840
Ferro passato alla filiera	» »	0,00144010	1/644
Rame	» »	0,00191880	1/521
Argento	» »	0,00208260	1/840
	Secondo **Wollaston**.		
Palladio	0° a 100°	0,00100000	1/1000
	Secondo **Dulong** e **Petit**.		
Platino	0° a 103°	0,00088420	1/1131
	» 300°	0,00275482	1/3631
Vetro	» 100°	0,00086133	1/1161
	» 200°	0,00184502	1/454
	» 300°	0,00303252	1/329
Ferro	» 100°	0,00118210	1/846
	» 300°	0,00440528	1/227
Rame	» 100°	0,00171820	1/582
	» 300°	0,00561972	1/177

Il signor Cantoni, egregio professore di fisica nella Regia Università di Pavia, osserva che le calorie di dilatazione sono massime nei solidi molto coerenti, e minime negli altri poco coerenti. Nel piombo le calorie di dilatazione sono poco più che un settimo di quel che sono nell'acciajo; e nel fosforo sono appena un ventesimo del valore a cui arrivano nel vetro comune. Quanto ai metalli, che non abbiano struttura cristallina, egli stabilisce la seguente legge che — havvi un rapporto certo tra le calorie di dilatazione e le varie proprietà che dipendono dalla coesione. La tavola che poniamo qui sotto lo conferma.

Nome dei corpi	Calorie di dilatazione	Coefficiente di elasticità	Limite di tenacità	Durezza relativa	Punto di fusione	Rapporto tra le calorie di dilatazione ed il coefficiente d'elasticità
Acciajo	2,659	1,956	70,0	0,950	1400°	1,36
Platino	2,585	1,704	34,1	0,575	2000?	1,52
Ferro	2,485	1,875	61,1	0,948	1500	1,33
Rame	1,638	1,220	40,3	0,501	1100	1,34
Ottone	1,597	0,900	35,0	—	—	1,38
Argento	1,042	0,741	29,0	0.208	1000	1,41
Alluminio	0,899	0,713	—	0,271	750?	1,26
Stagno	0,615	0,440	2,5	0,027	228	1,40
Oro	1,396	0,825	27,0	0,167	1250	1,63
Piombo	0,399	0,223	2,1	0,016	335	1,79
Zinco	0,784	0,873	12,8	0,183	410	0,90
Cadmio	0,519	0,500	2,3	0,108	360	1,04

In questa tavola, come ognuno vede, i corpi menzionati sono distinti in tre gruppi a seconda del valore che ha in essi il rapporto (espresso nell'ultima colonna) fra le calorie di dilatazione ed il coefficiente d'elasticità. Pei metalli del primo gruppo il suddetto rapporto ha pressochè un valore costante; nei metalli del secondo gruppo, distinti per duttilità, è un po' più grande; ed invece in quelli del terzo, che hanno struttura prossimamente cristallina, quel rapporto diminuisce. I metalli a struttura più distintamente cristallina, quali sono il bismuto e l'antimonio, mostrano un altro valore in quel rapporto, e ne vedremo fra poco la ragione.

Dalla legge esposta il Cantoni deduce una bella conseguenza, ed è questa che — con una determinata quantità di calorico, adoperata a scaldare verghe metalliche di diversa natura, ma di eguali dimensioni, si svolgono forze prementi pressochè eguali, almeno pei metalli del primo gruppo.

552. **Dilatazione cubica**. Conosciute le dilatazioni lineari dei corpi, basta moltiplicarle per 3 onde avere la loro dilatazione cubica. La dilatazione dei vasi di qualunque forma si determina col principio: che l'aumento prodotto dal calorico nella capacità d'un vaso è eguale a quello che nelle identiche circostanze acquisterebbe un solido della medesima sostanza, il quale riempisse esattamente il vaso; così la capacità di un vaso di vetro, essendo, per esempio, di 150 centimetri cubici a 0°, diventa 150 $(1 + 100\,a)$ a 100°, rappresentando con a la dilatazione cubica del vetro, che è di 0,00002584. Facciamo però osservare che: 1.° quando si voglia una grande precisione, converrà misurare direttamente la dilatazione dei vasi di vetro di cui si fa uso, e non dedurla dalla dilatazione lineare; perchè, indipendentemente dal modo, secondo cui il vaso fu lavorato, le pareti possono mancare di omogeneità. 2.° Il coefficiente di un medesimo vaso di vetro non è punto sempre lo stesso fra gli stessi limiti di temperatura, quando venne sottoposto a temperature tra loro differentissime, giacchè in simili casi il vetro soffre modificazioni di struttura eguali a quelle che producono lo spostamento dello zero nei termometri, come vedremo più sotto.

Dilatazione del ghiaccio. Il ghiaccio si contrae pel freddo, come gli altri corpi, ed aumentando di temperatura si dilata. Per tale cagione, nei massi di ghiaccio si aprono spesso grandi fessure, con un fracasso sì forte, che ora si assomiglia al rumore prodotto dalla scarica contemporanea di molti fucili, ed ora supera anche il fragore del cannone. Così dai grandi ammassi di ghiaccio si distaccano eziandio pezzi grossissimi che qualche volta, in più luoghi, sono causa di spaventevoli disastri. Il coefficiente medio di dilatazione lineare del ghiaccio, che non contenga bolle d'aria, fra 0° e — 6° è rappresentato dal numero $0{,}0000375 = \frac{1}{26700}$. La dilatazione del ghiaccio nell'aumento di temperatura è dunque più pronunciata di quella di tutti gli altri corpi solidi; giacchè lo zinco, che si dilata più d'ogni altro metallo, non ha per coefficiente che 0,000031.

553. **Anomalie — dilatazione dei cristalli**. Trattando delle relazioni che legano i coefficienti di dilatazione, abbiamo

ammesso che i corpi si dilatano uniformemente in tutti i sensi. E ciò in fatto avviene nei corpi omogenei. Ma i corpi che hanno una struttura non identica in tutte le direzioni, si dilatano senza dubbio molto irregolarmente nelle loro diverse dimensioni. Questa verità fu già da lungo tempo constatata dall'illustre Mitscherlich relativamente ad alcuni cristalli. Tutti i cristalli non appartenenti al primo sistema cristallografico (54), quando sono scaldati, non si dilatano egualmente in tutte le direzioni, anzi possono restringersi in una direzione, mentre si dilatano in un'altra. Nei cristalli simmetrici attorno un asse la dilatazione è la medesima nelle direzioni perpendicolari a quest'asse. Nei cristalli non simmetrici attorno un asse la dilatazione è differente nelle direzioni dei tre assi cristallografici. Il Cantoni fa due belle osservazioni circa molte sostanze non metalliche a struttura cristallina. 1.º Egli distingue queste sostanze in due gruppi: nell'uno comprende i minerali che appartengono al sistema romboedrico od *esagonale* (54); e nel secondo pone quelli degli altri sistemi. I minerali di quest'ultimo gruppo mostrano calorie di dilatazione generalmente proporzionali alla loro durezza relativa, e sempre inversamente proporzionali alla loro dilatabilità. Invece pei minerali del primo gruppo le calorie di dilatazione appajono decrescenti, coll'aumentare della durezza. Ma per essi si trova che le calorie stesse sono tanto maggiori quanto più grande è la differenza nella dilatabilità a seconda dei diversi assi del cristallo. Così nello spato calcare cotesta differenza è tale che, secondo Pfaff, mentre havvi una dilatazione lineare di 0,0000263 secondo l'asse principale, v'è una contrazione di 0,0000031 nel verso dei due assi ad esso perpendicolari, sicchè la dilatazione cubica effettiva è assai piccola (0,000020 invece di 0,000079, come sarebbe se il cristallo si dilatasse secondo i tre assi per quanto si dilata secondo l'asse principale), ed il cristallo tende a passare dalla forma romboedrica a quella del cubo. 2.º Lo stesso Cantoni osserva che nei solidi cristallini, in generale, e massime in quelli la cui dilatazione termica è molto diseguale nelle varie direzioni, le calorie di dilatazione risultano, a pari coerenza, maggiori che nei solidi a struttura uniforme. Fizeau nel 21 maggio 1866 (*Comp. Rend.*, vol. LXII, pag. 1101) presentò all'Accademia delle Scienze di Parigi una serie di preziose osservazioni circa il soggetto in discorso.

Per renderci ragione di tutte le anomalie che i cristalli ci offrono, basta riflettere che le molecole in questi corpi vanno soggette a due forze: l'una che, come in tutti gli altri corpi, s'oppone al loro allontanamento; e l'altra che le dispone secondo

le leggi della simmetria. Ognuno, innanzi tutto, intende che pertanto a dilatare questi corpi converrà adoperare una quantità maggiore di calorico che non per gli altri; ed indovina facilmente come potrà avvenire che, mentre il calorico allontana le molecole nei diversi gruppi molecolari, i centri di questi potranno disporsi in modo da produrre in un senso determinato l'effetto di una contrazione, od almeno da diminuire quello della dilatazione.

Dilatazione dei corpi omogenei oltre 100°. Anche la dilatazione dei corpi omogenei, al di là della temperatura di 100° cessa di essere uniforme, e diventa irregolare e sempre crescente colla temperatura. Questo risultato fu verificato anche da Dulong e Petit, col processo che noi abbiamo descritto. Così, per esempio, operando con una spranga di platino ed un'altra di rame a 300° del termometro ad aria, mentre il termometro a mercurio segna 310°, presentano una dilatazione che quando fosse uniforme corrisponderebbe alla temperatura di 320°. Lo stesso termometro a mercurio non corrisponde più a questa temperatura col termometro ad aria, per una dilatazione irregolare del liquido stesso.

Anomalie nella dilatazione del vetro. Quando il vetro, dopo essere stato esposto ad una elevata temperatura, torna a raffreddarsi allo stesso grado, non riacquista esattamente le dimensioni primitive, ma conserva per qualche tempo un'alterazione, che non perde se non a poco a poco. Herschell riconobbe, in certe sue esperienze, che ponendo un ferro caldo a piccola distanza dalla superficie posteriore di uno specchio concavo di vetro amalgamato, la distanza focale di esso si accorciava, e si allungava invece ponendo il ferro dinanzi. Queste variazioni cessavano bensì col ritirarsi del ferro caldo; ma producevano ne' fuochi delle diverse parti dello specchio una discordanza, che vi rimaneva per lungo tempo. Tale difetto non appariva negli specchi metallici, i quali, sottoposti alla stessa azione, dopo cinque minuti riacquistavano la perfetta regolarità della loro figura.

Anomalie nell'acciajo. L'acciajo mostra un effetto simile se da un'alta temperatura passa rapidamente ad una assai bassa: nell'acquistare con questo processo la tempera, esso prende altresì dimensioni alquanto maggiori di quelle che avrebbe acquistate qualora si fosse raffreddato lentamente. Dal che avviene che i pezzi d'acciajo dopo temperati non entrano più in quei fori, ove prima passavano facilmente; e se si temperano mentre stanno entro a pezzi d'altro metallo, incapace di tempera, vi si trovano

di poi estremamente forzati. L'acciajo offre un fenomeno ancor più singolare, ed è che a differenza degli altri metalli, la sua dilatabilità va diminuendo coll' aumentarsi della temperatura, per lo meno fino a 65°, vale a dire che, misurandone separatamente le dilatazioni da 0° a 1°, da 1° a 2°, da 2° a 3°, ecc., queste si trovano gradatamente decrescenti. Viene ciò attribuito all'essere l'acciajo temperato più dilatabile del non temperato, ed al perdere esso gradatamente la tempera, mediante il riscaldamento.

Anomalie nelle argille. Un'altra anomalia è quella che presentano le argille nel riscaldarsi. Queste invece di dilatarsi, si restringono, e quello che più è strano, conservano il restringimento ricevuto anche dopo che si sono tornate a raffreddare. Pei bassi gradi di calore questo fenomeno si attribuisce all'acqua che rimane nell'argilla dopo impastata e seccata, e che pel calore se ne sfugge in istato aeriforme; ed in fatto si trova che il peso diminuisce. Ma questa ragione per le temperature assai elevate non vale più; e siccome la diminuzione di volume continua anche in queste, così per ispiegarla si ammette che avvenga una più intima unione fra i componenti, che meccanicamente misti formano l'argilla, e dei quali i principali sono l'allumina e la silice. Quando però un pezzo di argilla, stato esposto ad un forte calore, e quindi lasciato raffreddare, torna di nuovo ad essere scaldato, esso, insino a che non sia giunto all'alta temperatura antecedentemente subita, si dilata al pari di tutti gli altri corpi.

Altre anomalie. Si restringono altresì pel calore un gran numero di sostanze animali: la carta pergamena, per esempio, presentata al fuoco, si incurva rendendosi concava in faccia al calore; ma qui tutto dipende dal partirsi dell'umidità, sicchè le parti si ravvicinano. I legni esposti al freddo talora si allungano di qualche piccolissimo tratto: ciò nasce dalla penetrazione dell'umidità, il cui effetto sorpassa il leggero restringimento prodotto dall'abbassamento di temperatura. L'azione separata sì dell'umidità che del calorico sui legni, li fa allungare, ma d'una quantità quasi insensibile; notabilissimo invece è l'effetto dell'umidità nelle direzioni trasversali.

354. **Applicazioni della dilatazione dei solidi.** La dilatazione dei solidi venne felicemente applicata nell'industria. E qui, innanzi tutto, voglio darvi un esempio delle inattese conseguenze che posso scaturire da queste notizie. Quando si scalda una spranga inflessibile, le cui estremità siano unite a due punti,

essa dilatandosi allontana questi punti, se la loro resistenza non è capace di comprimere la spranga per quanto si allungherebbe qualora fosse libera. Al contrario, se la spranga, fissa per le sue estremità a due punti, si raffredda, essa li avvicina, a meno che la loro opposizione non equivalga allo sforzo capace di produrre la rottura o d'allungare questa spranga, per tensione, d'una quantità eguale a quella di cui si contrae pel raffreddamento. Una spranga di ferro di un metro di lunghezza si dilata di 0,0012 per 100°. La formola $l = \frac{1}{K} \frac{PL}{s}$ dell'elasticità per torsione dà, nel caso che la spranga abbia una sezione di 25^{cm} quadrati, $P = 63000$ chilogrammi, prendendo per coefficiente di elasticità del ferro il numero rotondo 21000. Questo valore di P rappresenta lo sforzo necessario per impedire che una sbarra quadrata di cinque centimetri di lato si contragga da 100° a 0°, o si dilati da 0° a 100°. Molard fece un'applicazione curiosa della forza sviluppata nella contrazione del ferro. Sotto il peso della volta, le muraglie di una galleria del Conservatorio delle Arti e Mestieri di Parigi si erano allontanate, in modo che l'edifizio minacciava rovina. Molard fece passare attraverso a queste muraglie parecchie robuste sbarre di ferro, terminate alle estremità da una vite, munita della rispettiva madrevite: cominciò a riscaldarne alcune, e mentre esse si allungavano, girava e teneva serrate contro le muraglie le loro madreviti. Queste spranghe, venendo in seguito a raffreddarsi in tale disposizione, si contraevano, ed avvicinavano alcun poco le pareti. Intanto che le prime sbarre producevano il loro effetto, egli scaldava le altre, tenendo similmente del continuo serrate le loro madreviti contro le muraglie. Quindi lasciava raffreddar queste, per riscaldare nuovamente le prime. E così operando ora sulle une ed ora sulle altre, pervenne a rimettere i muri nella loro posizione verticale. Un'altra applicazione della contrazione prodotta nei corpi dal raffreddamento è quella che si fa nel mettere i cerchj di ferro alle rote dei carri e della carrozze. Si riscaldano i cerchj stessi fino al punto in cui acquistano un diametro interno maggiore di quello delle rote stesse; poscia si adattano tosto a queste, e si lasciano raffreddare. A questo modo il cerchio metallico, contraendosi, stringe fortemente la rota, sicchè ne tien legate assieme le varie parti, mentre vi aderisce in maniera stabile.

355. **Pendoli compensatori**. Abbiamo già veduto (233) come la velocità, con cui si muove un pendolo, sia legata alla lunghezza di esso. Ma per le contrazioni e le dilatazioni causate

dal variare di temperatura nelle aste dei pendoli, gli orologj sogliono accelerare il loro moto d'inverno, e ritardarlo d'estate, oltre il conveniente. A tale difetto si provvede coi *pendoli compensatori*, o *compensati*.

Pendolo compensatore di Graham. Nel pendolo di Graham si ottiene la compensazione mediante la dilatazione del mercurio. Questo liquido si trova in un vaso cilindrico di vetro, che tiene luogo della lente (254), sostenuto da un'asta parimenti di vetro. Quando la temperatura si eleva di t^0, la lunghezza l aumenta di quantità lkt, chiamando con k il coefficiente di dilatazione lineare del vetro, e per conseguenza il centro di gravità del mercurio, applicato all'estremo inferiore dell'asta di vetro, si abbassa della stessa quantità. Ma nello stesso tempo, e per la stessa cagione, la colonna di mercurio, dilatandosi, si solleva nel recipiente, e quindi il centro di gravità si alza di una quantità, che chiamando con h l'altezza del mercurio, e con d il coefficiente della sua dilatazione lineare apparente, sarà espressa da $\frac{1}{2}\ hdt$. Epperò se l'altezza e la massa del cilindro di mercurio è proporzionale alla lunghezza ed alla dilatabilità dell'asta del pendolo, in modo d'avere $lkt = \frac{1}{2}\ hdt$, ossia $lk = \frac{1}{2} hd$, il centro di gravità della lente sarà alzato per la dilatazione del mercurio di una porzione eguale a quella di cui si abbassa per la dilatazione del vetro, e in generale dell'asta del pendolo, si avrà cioè la compensazione. Prendendo $k = \frac{1}{116100}$, e $d = \frac{1}{6480}$, si trova press'a poco $h = \frac{1}{q}\ l$. Siccome però il centro d'oscillazione del pendolo non si confonde punto col centro di gravità, così la compensazione non è rigorosa. Per averla tale si diminuisce o si aumenta così a un dipresso la quantità di mercurio, o meglio si eleva o si abbassa il vaso del mercurio, mediante una vite opportuna. Il pendolo di Graham è usato di raro.

Pendolo compensatore di Leroy. Nel pendolo compensatore di Leroy, un cilindro cavo di ottone, appoggiato sopra una piastra metallica, porta dalla base superiore una spranga di ferro, alla quale, mediante una piccola lamina d'acciajo sottile e flessibile, è sospesa l'asta di ferro del pendolo. La laminetta d'acciajo può scorrere attraverso una fessura, praticata nella piastra di sostegno, i cui lembi rappresentano l'asse di sospensione del pendolo. Quando la temperatura si eleva, il tubo di ottone si al-

lunga di una porzione kl, rappresentando con k il coefficiente di dilatazione, e con l la lunghezza primitiva di esso, e quindi anche il pendolo viene alzato della stessa quantità. Nel medesimo tempo le spranghe di ferro di lunghezza L lo fanno abbassare di una porzione eguale al loro allungamento espresso da Lk', chiamando con k' il coefficiente del ferro. Si avrà dunque la compensazione quando sarà $kl = k'L$. Epperò, siccome k' è press'a poco eguale ai $\frac{2}{3}$ di k, così per ottenere la compensazione fa d'uopo che il tubo di ottone abbia press'a poco un'altezza che sia eguale ai due terzi della lunghezza totale delle due aste di ferro. Anche in questo pendolo si dovrà ottenere esperimentalmente la compensazione completa, spostando la lente per mezzo di una vite che si trova nella parte inferiore. Al pendolo di Leroy, che abbiamo ora descritto, si diede in seguito una disposizione molto migliore, ed è la seguente. Il pendolo è portato in a (fig. 510) da una specie di leva in squadra abc, il cui asse si trova in b. Il braccio bc di questa leva risulta da un pezzo vicino all'asse e da un martello d'acciajo, che può scorrere sulla parte fissa, contro il quale viene ad urtare una robusta spranga di metallo m. Quando la temperatura si eleva, il pendolo si allunga, e con esso anche la sbarra m, la quale perciò urta il martello, fa girare la leva, e porta in alto il punto a. La lunghezza del pendolo viene per tal modo diminuita, perchè esso comincia solamente a partire dal pezzo fisso p, che stringe la molla flessibile di sospensione. La distanza bc del martello dall'asse b, si regola per mezzo di una vite, onde determinare una compensazione completa. Rappresentando con L la lunghezza del pendolo, partendo da p, con l la lunghezza della traversa m, con k e k' i coefficienti dei metalli di cui sono formate queste due spranghe, si avrà la compensazione quando siano $Lk = lk' \frac{ba}{bc}$. Questo pendolo si adopera negli orologj grandi da torri o campanili.

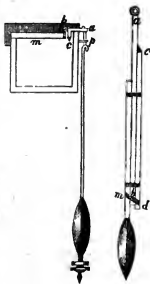



Fig. 510. Fig. 511.

A questo pendolo si dà un'altra disposizione. Si uniscono a snodatura due spranghe l'una d'acciajo *ab* (fig. 511) e l'altra di rame *cd*. per mezzo di una leva *md*, essa pure congiunta allo stesso modo in *m* con una terza verga, che porta la lente. La spranga *cd* è arrestata in *c*, sicchè non si può allungare dal basso all'alto; ma quand'essa si dilata l'estremo *d* si abbassa, e per conseguenza si eleva il punto *m* colla lente, mentre la dilatazione della spranga *ab* d'acciajo fa abbassare tutto il sistema. Basta pertanto, ad ottenere la compensazione, far sì che l'allungamento di un'asta eguagli quello dell'altra.

Pendolo a grata. Il pendolo a grata, rappresentato dalla figura 512, è dovuto ad Harrisson. Le due spranghe estreme e quella di mezzo sono di ferro, e le due intermedie sono di ottone: distinguiamole coi numeri 1, 2, 3, 4, 5, cominciando da sinistra a destra; così quelle di ferro saranno rappresentate dai numeri dispari, e quelle di ottone dai pari. Aggiungiamo che le traverse *ab*, *ed* sono fisse alle spranghe *f*, *f*, e fanno sistema con loro, mentre invece la traversa *oi* è unita alle spranghe 2 e 4, fisse sopra *ed*; le quali perciò nella loro dilatazione sollevano la traversa *oi*, e nel medesimo tempo la spranga 3, che, saldata con essa alla estremità superiore, passa liberamente per un foro praticato nell'asta *ed* e discende fino a portare la lente. Per tale congegno, le aste di ferro possono allungarsi solamente dall'alto al basso, e quelle di ottone solamente dal basso all'alto. Da qui apparisce chiaramente che alla compensazione basta che l'allungamento delle une eguagli quello delle altre. Siccome l'asta 1 si allunga colla 5, la 2 colla 4; così si dovrà calcolare l'allungamento delle aste 1, e 3 di ferro, e 2 di ottone. Chiamando con *d*, *e*, *f*, queste aste, con *l* la lunghezza del pendolo, con x il coefficiente del ferro, e con y il coefficiente dell'ottone, avremo $l = d - e + f$, ossia $l = d + f - e$ (1)ª. La compensazione si avrà quando sia: $(d + f)\, x - ey = o$, da cui si ottiene $(d + f)\, x = ey$ (2)ª. Dalla prima equazione abbiamo $l + e = d + f$; epperò sostituendo nella seconda, al posto

Fig. 512.

$d + f$, il valore qui espresso, avremo: $(l + e)\,x = ey$, ossia $lx + xe = ye$. Rappresentando con l' il valore di e, ossia dell'asta 2, che è poi la semisomma delle aste di ottone, avremo $lx + xl' = yl'$, e quindi $lx = yl' - xl' = l'(y - x)$; da cui $l' = \frac{lx}{y - x}$; e dividendo ambedue i termini della frazione secondo membro per x, $l' = \frac{l}{\frac{y}{x} - 1}$. Siccome poi il valore di $\frac{y}{x}$ è press'a poco $\frac{5}{3}$, così avremo $l' = \frac{l}{\frac{5}{3} - 1}$ $= \frac{l}{\frac{5}{3} - \frac{3}{3}} = \frac{l}{\frac{2}{3}} = \frac{3l}{2} = l + \frac{1}{2}l$; ossia la somma delle semilunghezze delle spranghe di ottone deve essere eguale press'a poco ad una volta e mezza la lunghezza del pendolo con asta di ferro.

556. **Lamine compensatrici**. Un'altra foggia di compensatori è quella delle lamine bimetalliche o compensatrici. Si chiama con tal nome un sistema di due lamine metalliche di natura differente, inegualmente dilatabili, saldate assieme ed applicate trasversalmente all'asta del pendolo un po' al dissopra della lente. Agli estremi di questo sistema sono fissate due piccole sfere massicce. Per formarci un'idea dell'effetto di questo congegno, supponiamo che esso sia composto di una lamina di zinco e di una di ferro, che quella di zinco sia al dissotto, e quella di ferro al dissopra, e ch'esse si trovino piane alla temperatura di 20°. È evidente che, elevandosi la temperatura, il sistema dovrà curvarsi nel senso che la superficie di ferro sia la concava, e quella di zinco la convessa; ed invece abbassandosi la temperatura il sistema si curverà in senso contrario; di modo che nel primo caso le due sfere si alzeranno, e nel secondo si abbasseranno, alzando od abbassando insieme il centro d'oscillazione del pendolo. Se le cose sono disposte in modo che nell'elevamento di temperatura il centro d'oscillazione tanto si alzi per l'incurvamento del sistema quanto si abbassa per l'allungamento dell'asta, e nell'abbassamento di temperatura lo stesso centro tanto si abbassi per l'incurvamento del sistema quanto si eleva per la contrazione dell'asta, il pendolo sarà esattamente compensato. Le due sfere sono avvitate sul sistema, in modo che si possono più o meno allontanare, onde rendere più o

meno pronunciato l'elevamento o l'abbassamento del centro di oscillazione del pendolo. Le lamine compensatrici sono dovute a Martin, fabbricatore d'orologj.

Bilanciere compensato o compensatore. Il sistema delle lamine compensatrici venne in seguito felicemente applicato per compensare gli orologj portatili che si usano sui bastimenti, e che non sono regolati dal pendolo: orologj nei quali è richiesta somma esattezza, poichè l'errore di qualche minuto potrebbe recare i più gravi disastri. In questi strumenti il movimento è regolarizzato da una rota o bilanciere, munito di una molla spirale (fig. 513), la durata delle cui oscillazioni dipende dalla forza della molla, dalla massa e dal raggio della rota. Quando la temperatura si eleva, il suo raggio aumenta ed il cronometro ritarda. Per impedire questo effetto, basterebbe ridurre verso l'asse una porzione della massa del bilanciere. A questo intento, verso l'estremità d'ogni raggio della rota si fissa un arco formato da due lamine compensatrici, delle quali la più dilatabile è all'esterno; ed alle estremità libere di ciascun raggio si applicano a vite delle piccole sferette metalliche. Quando, elevandosi la temperatura, i raggi del bilanciere si allungano, le sferette si avvicinano al centro, per l'incurvamento delle lamine di compensazione; ed al contrario, quando la temperatura s'abbassa ed i raggi suddetti s'accorciano, le sfere si allontanano dal centro per l'effetto contrario delle lamine stesse. Spostando poi più o meno le sfere avvitate, si arriva ad ottenere esperimentalmente che i due effetti contrarj sieno compensati esattamente.

Fig. 513.

557. **Termometri metallici**. Dalla proprietà delle lamine compensatrici i fisici hanno pur tratto partito per inventare alcuni *termometri metallici,* molto pregevoli o per la straordinaria sensibilità, o per la forma comodissima da maneggiare e trasportare. Uno di questi strumenti è il *termometro a quadrante.* La lamina di compensazione è composta di ottone e d'acciajo; è fissa in *f* (fig. 514), si curva in *g*, e termina in *h*, dove appoggia continuamente contro il braccio minore di una leva di primo genere. Il braccio maggiore di questa leva ha la forma di un settore circolare dentato, i cui denti incastrano quelli d'un piccolo pignone, il quale gira intorno all'asse centrale, e porta l'indice *ll,* che percorre le

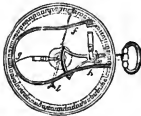



Fig. 514.

divisioni d'un quadrante. I movimenti piccolissimi, che la dilatazione può produrre all'estremità h, sono ingranditi nel rapporto che passa fra i due bracci della leva; ma vengono ampliati anche dalla lunghezza dell'indice. Si stabiliscono le dimensioni in modo che 100 gradi del termometro centigrado corrispondano presso a poco ad una rivoluzione intiera dell'indice. Gli istrumenti di questa specie devono essere graduati sopra termometri a mercurio di grado in grado, o per lo meno di dieci in dieci gradi.

Termometro di Breguet. Il termometro di Breguet è il più delicato ed il più comodo di tutti i termometri metallici. Esso consta di un piccolo nastro bimetallico (fig. 515), di uno a due millimetri di larghezza, piegato a spira, sospeso ad una sua estremità mediante un sostegno di ottone, e munito all'altra di un indice orizzontale molto leggero, la cui punta percorre la circonferenza di un cerchio graduato. Questo cerchio è vuoto nel mezzo, e riposa sopra tre piedi di piccolissime dimensioni, affinchè l'aria possa circolare facilmente entro tutte le eliche della spira. Infine una campana chiude l'apparecchio, onde difenderlo dalle agitazioni esterne. Il nastro è composto di tre strati metallici soprapposti, argento, oro e platino: lo strato d'oro che è nel mezzo serve di saldatura agli altri due. Questo sistema ha dapprima uno spessore troppo grande, ma lo si preme in seguito sotto il laminatojo fino a ridurlo di uno spessore totale di $^1/_{60}$ di millimetro, onde partecipi rapidamente alle mutazioni di temperatura. Per l'ineguale dilatazione del platino e dell'argento, la spira si ravvolge o si devolve, quando la temperatura si eleva o si abbassa, e l'indice si muove ora in un senso, ed ora nell'altro. Si gradua poi questo istrumento paragonandolo ad un termometro a mercurio molto sensibile.

Fig. 515.

Termometro di Borda. Il termometro costrutto da Borda, risulta da un regolo di platino di 12 piedi di lunghezza, fisso ad una delle sue estremità con un altro regolo di rame, un po' più corto, che gli è soprapposto. Il regolo di rame all'estremità libera porta un verniero, il quale può scorrere lungo una divisione tracciata sul regolo di platino, le cui parti sono di un millesimo della lunghezza di questo regolo. È chiaro che al crescere della temperatura, lo zero del verniero s'avanza sulle divisioni, poichè il rame si dilata più del platino. Mettendo l'apparato nel ghiaccio deliquescente ed in seguito nell'acqua caldissima, di cui se ne

conosca la temperatura dall'indicazione di un termometro, si conoscono i tratti delle divisioni corrispondenti alle due temperature, di modo che si può facilmente calcolare il numero dei gradi centigradi corrispondente al numero di divisioni percorse dallo zero del verniero. Conosciuta una volta con esattezza la temperatura media dell'apparato, è facile calcolare in seguito la lunghezza che deve avere il regolo di platino.

558. **Pirometro di Regnier**. Il pirometro di Regnier consta di due lamine, l'una di rame e l'altra di ferro, piegate in arco *f* (fig. 516), le cui estremità sono saldate ad una spranga di ottone *c*. Elevandosi la temperatura, siccome il rame si dilata più del ferro, il vertice dell'arco si avvicina alla spranga *c*, e la piccola leva a gomito *a*, mette in movimento l'indice *g*. In pratica però questo pirometro è incomodo, perchè dev'essere introdotto totalmente nella fornace, di cui si vuol conoscere la temperatura.

Fig. 516.

Pirometro di Brogniard. Brogniard imaginò un altro pirometro, nel quale l'indice, che indica la temperatura interna della fornace, appare all'esterno, e serve principalmente per le fornaci di fabbricazione delle porcellane e dei vetri colorati. Questo strumento risulta di una tavoletta *m* (fig. 517) di porcellana ricotta, in una scanellatura della quale si colloca un cilindro di ferro *ab* (la cui estremità *b* appoggia contro il fondo della scanellatura) e dopo di esso un cilindro *ac* della stessa materia della tavoletta, che attraversa il muro della fornace, e colla estremità *c* urta il braccio di una leva di primo genere, il cui fulcro è in *d*. L'altro braccio di questa leva termina in un arco dentato, i cui denti imboccano quelli di un pignone *e*, che porta l'indice *g*, il quale può percorrere le divisioni di un quadrante. Una molla *p* preme continuamente l'indice *g*, in modo che il cilindro *ac* sia sempre appoggiato contro il cilindro *ab* di ferro. Il cilindro di porcellana e la tavoletta si dilatano pochissimo anche alle più alte temperature, ed in ogni caso si dilatano e l'uno e l'altra egualmente, sicchè rimane in-

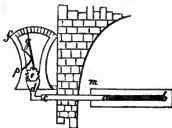



Fig. 517.

tieramente attivo contro il braccio *c* della leva tutto l'eccesso della dilatazione del ferro sopra quella di una eguale lunghezza della tavoletta. Il braccio *c* della leva trasmette il suo movimento all'altro braccio, che agendo sul pignone *e*, mette in moto l'indice *g*. Questo pirometro, come il precedente, non segna le temperature in gradi comparabili nè a quelli del termometro a mercurio, nè fra loro stessi, perchè, come abbiam visto, le dilatazioni dei solidi vanno aumentando al dissopra di 100°. Esso però serve nondimeno a regolare con abbastanza di approssimazione il fuoco della fornace, giacchè nelle operazioni industriali basta avere un mezzo con cui riconoscere d'aver raggiunte quelle temperature che convengono alle operazioni che si vogliono effettuare.

Pirometro di Wedgwood. Il celebre fabbricatore di porcellana, l'inglese Wedgwood, è l'inventore del pirometro il più conosciuto, nel quale è messa a profitto la proprietà che hanno le argille di restringersi coll'aumento di temperatura. Esso consiste: 1.° in tre regoli di ottone (fig. 518), fissati su di una tavola parimenti di ottone, in modo da formare tra loro un piccolo angolo. La lunghezza dello spazio angolare, compreso da due regoli, è di 305 millimetri, ed è divisa in 240 parti eguali. La più gran distanza di due regoli è di 12^{mm},7, e la più piccola è di 8^{mm},5. 2.° In una serie di cilindretti tutti eguali e per lunghezza e per composizione. La loro lunghezza è tale che, alla temperatura ordinaria, messi nello spazio angolare dello strumento, arrivano fino allo zero della divisione. Quanto poi alla composizione di tali cilindretti, notiamo che dessa può variare da uno strumento ad un altro: quelli adoperati da Wedgwood contenevano sopra 100 parti in peso 47,35 di silice, 44,29 d'albumina e 8,36 d'acqua. Per esperimentare con questo pirometro, non si fa altro che esporre due o tre cilindretti all'elevata temperatura che si vuol conoscere. Dopo qualche tempo si ritirano questi pezzi d'argilla, e, quando sieno raffreddati, s'introducono per traverso nel canale dell'apparato. È chiaro che essi, ritenendo l'accorciamento sofferto, vi salgono più o meno, cioè fino all'uno o all'altro grado della scala, secondo che sono stati esposti a più o meno alta temperatura. E così se il cilindretto, per esempio, introdotto nel canale del

Fig. 518.

pirometro arriva fino alla divisione 55.ª, si dirà che la temperatura alla quale esso venne esposto era di 55° dell'apparato stesso. Conviene poi far uso ogni volta di nuovi cilindretti, giacchè quelli che hanno servito una volta, non sono più atti, se non nel caso che si vogliano usare per una temperatura ancora più elevata. Questo strumento però è ancora lontano dall'esser perfetto, non essendo ben chiarito il valore dei gradi di esso in paragone di quelli dei termometri ordinarj, e non sapendosi nemmeno se il loro valore sia il medesimo a tutte le temperature. Si crede che senza errore molto grande si possa calcolare ogni grado di questo pirometro eguale a 75° centes. Ad ogni modo però esso è uno strumento di pratica utilità, specialmente per far conoscere la temperatura di qualunque luogo determinato della fornace. Wedgwood seppe inoltre giovarsi del suo strumento per sapere la temperatura di cottura delle antiche stoviglie. A questo intento, egli espose i frammenti di tali stoviglie a temperature sempre crescenti, osservando a qual punto essi incominciassero a contrarsi. Così l'illustre inglese constatò che la temperatura di cottura dei vasi Etruschi non fu maggiore dei 32° del suo pirometro.

559. **Spiegazione d'alcuni fenomeni**. Abbiam visto le belle applicazioni della dilatabilità dei solidi, vediamone ora gli effetti in natura. Tutti sanno che si rompono talvolta i bicchieri, i vasi di terra e simili, nel versarvi un liquido caldo, o nel porli al fuoco, o nel bagnarli d'acqua fredda quando già sono caldi; ed in generale che i corpi esposti a repentine e notabili mutazioni di temperatura in qualche loro parte, facilmente si spezzano. Imperocchè questa parte cerca di dilatarsi o di restringersi, e le altre, che non hanno sentita per anco la mutazione di temperatura, non assecondano questi movimenti, anzi li contrastano, sicchè può nascerne appunto che si disgiungano. Manifestamente poi l'effetto sarà tanto più facile ad avvenire quanto più repentino sarà il caldo od il freddo, quanto più renitente ad alterarsi nella sua forma sarà il corpo, e più lento a pigliare una temperatura uniforme in tutte le sue parti. Le ampolle di vetro resistono al fuoco perchè, essendo molto sottili, il calorico si trasmette rapidamente in tutta la massa, e non accade ciò che dicevamo poc'anzi, che certe parti contrastino le dilatazioni delle altre. La sottigliezza è parimenti la cagion principale onde le terraglie inglesi resistono al caldo meglio delle nostrali. In quelle miniere, ed in generale in quei luoghi ove per rompere le pietre non pare prudente di usare le mine, si ricorre all'espediente di accendere e mantenere lungamente un gran

fuoco lungo quella parete del sotterraneo nella quale s'intende di fare lo scavo. Poscia, rimosso prontamente il fuoco, si gitta contro alla parete medesima molt'acqua fresca: e quella si screpola e si spacca in mille parti, sicchè riesce poi facile il demolirla interamente. Dal medesimo principio dipende un curioso processo di tagliare il vetro. Chicchessia può usarne facilmente. All'orlo della lastra di vetro che volete dividere, e propriamente in quel luogo dove desiderate di cominciare il taglio, appoggiate la punta di un carbone acceso, e soffiatevi sopra. Dopo un momento, levate il carbone, e toccate il vetro in quel luogo con un dito bagnato d'acqua fredda: il vetro si spaccherà tosto in quella parte, ma per un piccolo tratto. Appoggiate allora nuovamente la punta della bragia sopra la lastra, e propriamente colà dove termina la piccola spaccatura, e soffiate. Allora, senza più bagnare, la spaccatura si prolungherà un tantino verso il mezzo della lastra; e così continuando arriverete ben presto all'orlo dirimpetto, e avrete diviso il vetro. Le caldaje metalliche, collocate nei fornelli di muro, si deformano fino a spaccarsi, se non si lascia libero un certo spazio anullare tra la caldaja e la parete del fornello. Così le grate dei fornelli incastrate esattamente ad ambedue le loro estremità, dilatandosi, arrivano a smuovere i mattoni del fornello. Le spranghe di ferro incastonate nelle pietre, dilatandosi più di queste, sotto l'azione del calor solare, qualchevolta le spaccano. Nella costruzione delle ferrovie si ha cura di lasciare uno spazio di qualche millimetro fra i diversi pezzi di ferro che formano le guide della strada, onde si possano dilatare liberamente; giacchè altrimenti le guide s'incurverebbero di tratto in tratto, ovvero spezzerebbero i loro cuscinetti. Quando la temperatura passa da — 20° a 40° un chilometro si dilata di $0^m,72$. I tetti in zinco si fendono, quando invece di soprapporre una parte all'altra, a quel modo che si dispongono le tegole sui tetti delle nostre case, onde abbiano a dilatarsi in ogni senso, si vogliono saldare assieme. I muri degli edificj si dilatano sensibilmente. Le chiavi delle volte dei grandi ponti s'elevano o s'abbassano per le variazioni di temperatura. Un simile effetto in qualche località è così pronunciato che alcune fenditure s'aprono nelle stagioni rigide, e si rinserrano a tempo caldo, specialmente se sono nella parte esposta a mezzogiorno. Gli strumenti astronomici, collocati su alti edifizj, qualchevolta soffrono uno spostamento sensibile per la dilatazione dei muri esposti all'azione del calor solare. Ma bastino ormai questi esempj a formarvi un'idea delle leggi che governano la dilatazione dei solidi: potrete osservarne da voi stessi molti altri e darne la spiegazione.

ARTICOLO SECONDO

CANGIAMENTI DI VOLUME DEI LIQUIDI.

560. **Dilatazione dei liquidi.** Venendo ora alla dilatazione dei liquidi, debbo innanzi tutto prevenirvi che di questi corpi, i quali non hanno una forma propria, si studia solo la dilatazione cubica. Inoltre, siccome essi si dilatano molto più irregolarmente dei solidi, così non si può qui far uso del coefficiente di dilatazione propriamente detto, ma bisogna accontentarsi del coefficiente medio che corrisponde alla dilatazione del corpo da 0° ad una temperatura determinata. Avanti poi che vi dica come si conobbe la dilatazione dei liquidi, voglio ricordarvi un'altra cosa, ed è questa. Qualora l'osservazione sia limitata all'aumento apparente del volume del liquido contenuto in un vaso qualunque, non bisogna perdere di vista che si misura un effetto complesso, giacchè la capacità del vaso aumenta essa pure, elevandosi la temperatura. I fisici pertanto distinguono la dilatazione *apparente* dalla dilatazione *assoluta* di un liquido.

561. **Dilatazione assoluta del mercurio.** Le prime esperienze circa la dilatazione dei liquidi vennero fatte sul mercurio, che, essendo esso adoperato alla costruzione di molti strumenti di fisica, ha sopra ogni altro liquido una importanza speciale. Vi descrivo il processo di Dulong e Petit. Per comprendere come questi instancabili esperimentatori abbiano fatto a misurare la dilatazione del mercurio, figuratevi due vasi A e B (fig. 519),

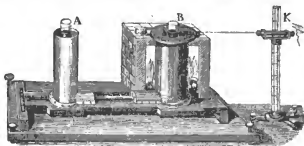



Fig. 519.

comunicanti fra loro per mezzo di un tubo capillare orizzontale. Ognuno di questi due vasi è introdotto in un secondo recipiente, quello che contiene il vaso B è fisso in un fornello e riempito d'olio. Supponete di versare mercurio nel sistema dei

due vasi: esso si eleverà alla medesima altezza in amendue le parti verticali (130), quando abbia in ogni parte la stessa temperatura; ma se il vaso A viene circondato da ghiaccio, ed il vaso B è scaldato ad una temperatura t^0, qui il mercurio si eleverà ad una altezza h', maggiore di h, così chiamando l'altezza del liquido nel primo vaso. Se con d' e d rappresentiamo le densità del mercurio alle temperature t^0 e 0^0, avremo pertanto $h : h' = d' : d$ (132). Inoltre, indicando con v e v' i volumi di una medesima massa di mercurio alle temperature 0^0 e t^0, e per conseguenza di densità d e d', avremo $v : v' = d' : d$. Confrontando queste due proporzioni, otterremo la terza $h : h' = v : v'$, ossia $h : h' - h = v : v' - v$, da cui si ottiene $h\ (v' - v) = v\ (h' - h)$, ossia $\frac{v' - v}{v} = \frac{h' - h}{h}$, e dividendo ambedue i membri per t, sarà $\frac{v' - v}{vt} = \frac{h' - h}{ht}$. Ma $v' - v$ è l'aumento di volume del mercurio che passa da 0^0 a t^0, e vt è il volume del mercurio alla temperatura t^0; dunque $\frac{v' - v}{vt}$ indica l'aumento dell'unità di volume nel passaggio del liquido dalla temperatura 0^0 alla t^0, ossia è il coefficiente della dilatazione assoluta del mercurio. Epperò, per conoscere questo coefficiente, basterà misurare esattamente le altezze h ed h' e la temperatura t.

Dulong e Petit misurarono così la dilatazione assoluta del mercurio da 0^0 a 300^0, ed i risultati delle loro esperienze sono i seguenti.

Temperatura d'un termometro ad aria	Coefficiente medio per 1^0	Temperature indicate dalla dilatazione del mercurio supposta uniforme
100^0	$\frac{1}{5550} = 0{,}00018018$	100^0
200^0	$\frac{1}{5425} = 0{,}00018433$	$204^0{,}61$
300^0	$\frac{1}{5300} = 0{,}00018868$	$314^0{,}15$

Il termometro ad aria sarà descritto più innanzi (377). Regnault ripetè le esperienze di Dulong e Petit, con un processo analogo ma assai perfezionato; e trovò definitivamente i numeri seguenti, che poco differiscono dai primi.

Temperatura d'un termometro ad aria	Coefficiente medio da 0° a t^0	Coefficiente reale da t^0 a (t^0+1^0)	Temperature indicate dalla dilatazione del mercurio supposta uniforme
0°	0	0,00017905	0°
30	0,00018905	0,00018051	29,709
50	0,00018027	0,00018152	49,650
70	0,00018078	0,00018253	67,777
100	0,00018153	0,00018305	100, —
150	0,00018279	0,00018657	151,044
200	0,00018405	0,00018909	202,782
250	0,00018531	0,00019161	255,214
300	0,00018658	0,00019413	308,340
350	0,00018754	0,00019666	362,160

562. **Dilatazione apparente del mercurio**. La dilatazione apparente del mercurio e di qualunque altro liquido, ossia l'eccesso della dilatazione del liquido sopra quella del recipiente, varia, com'è naturale, colla natura del recipiente medesimo. Dulong e Petit calcolarono la dilatazione apparente del mercurio nel vetro. A questo intento adattarono sull'apertura di un vaso cilindrico di vetro (fig. 520) un tubo capillare, piegato ad angolo retto: pesarono lo strumento vuoto, poscia pieno di mercurio alla temperatura 0°, onde sapere il peso P del mercurio contenuto nel vaso. In seguito scaldarono il tutto fino ad una temperatura t, raccogliendo in una piccola capsula il liquido che per effetto della dilatazione usciva dall'apparecchio.

Fig. 520.

È evidente che, rappresentando con p il peso del mercurio così uscito, quello del mercurio rimasto nel recipiente, viene espresso da $P - p$; e per conseguenza il peso p indica la dilatazione per t^0 del peso $P - p$ di mercurio. Ma se il peso $P - p$, passando da 0° a t^0, nel vetro si dilata di una quantità p, il volume di una sola unità di peso, nelle medesime condizioni, accresce di $\frac{p}{P-p}$ per t^0, e di $\frac{p}{(P-p)t}$ per 1°; dunque $\frac{p}{(P-p)t}$ rappresenta il coefficiente di dilatazione apparente del mercurio nel vetro. Così ragionando, Dulong e Petit trovarono che pel vetro ordinario è $\frac{p}{(P-p)t} = \frac{1}{6480}$.

Termometro a peso L'apparato che ha servito nell'esperienza precedente è detto *termometro a peso,* perchè dal peso del mercurio uscito si può dedurre la temperatura a cui lo strumento venne esposto. Infatti dalla equazione $\frac{p}{(P-p)t} = \frac{1}{6480}$, ossia $6480 \cdot p = (P-p)t$, si deduce il valore di $t = \frac{6480 \cdot p}{P-p}$, che si conoscerà quando sieno determinati i valori di P e di p.

563. **Dilatazione del vetro**. La scoperta fatta da Dulong e Petit, circa la dilatazione assoluta ed apparente del mercurio, li condusse ad una seconda, cioè a quella della dilatazione del vetro, e, come già abbiamo accennato (551), degli altri corpi che non sono chimicamente alterati dal mercurio. Per formarci un'idea della via che essi tennero nel calcolo della dilatazione del vetro, supponiamo che il volume del mercurio a 0° sia v, ed il volume apparente di esso a 1° sia v'; diciamo D il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio, ed x il coefficiente di dilatazione cubica del vetro. Il volume reale del mercurio ad 1° è eguale al volume apparente v', accresciuto dalla dilatazione del recipiente, ossia $+ v'x$; ma lo stesso volume reale del mercurio ad 1°, essendo v a 0°, e D il coefficiente di dilatazione, è eguale a $v\,(1 + D)$. Quindi si ha $v' + v'x = v\,(1 + D)$, ossia $v' + v'x = v + vD$, da cui $v' - v = vD - v'x$; e dividendo tutto per v, otterremo $\frac{v' - v}{v} = D - \frac{v'}{v}\,x$. Ma il primo membro è il coefficiente di dilatazione apparente del mercurio, che chiamiamo d, quindi sarà: $d = D - \frac{v'}{v}\,x$. La quantità $\frac{v'}{v}$, per la piccolezza di x, si potrà trascurare nei calcoli che non esigono somma precisione, e ritenere $d = D - x$, ossia $x = D - d$. Essendo $D = \frac{1}{5550}$, e $d = \frac{1}{6480}$, la dilatazione del vetro ordinario sarà $\frac{1}{5550} - \frac{1}{6480} = \frac{31}{1198800} = \frac{1}{38671} = 0{,}00002585$. Volendo però un valore più preciso, bisogna tener conto anche della quantità $\frac{v'}{v}$, ed usare la formola $x = \frac{v}{v'}\,(D - d)$.

564. **Dilatazione degli altri liquidi**. Oltre al metodo descritto, esattissimo ma alquanto laborioso, per sapere la dilatazione assoluta degli altri liquidi, furono imaginati diversi processi. Il più facile consiste nel misurare la loro dilatazione apparente in vasi di vetro o d'altra sostanza, di cui si conosca il coefficiente di dilatazione, e poi correggere il risultato. A questo intento

serve ottimamente la formola sopra stabilita, ma ridotta ad un altro aspetto. Chiamando D, d i coefficienti di dilatazione assoluta ed apparente del liquido; v il volume a 0°, v', V' i volumi apparenti ed assoluti a t^0, ed x il coefficiente di dilatazione del vaso, avremo analogamente $d = D - \frac{v'}{v} x$. Da questa formola si ottiene: $D = d + x \frac{v'}{v}$; e se rammentasi quanto fu detto al n. 550, facilmente si comprende che sarà $V' = v (1 + Dt)$. Epperò, sostituendo qui il valore di D, trovato prima, avremo $V' = v(1+dt) + txv'$. Ma $v (1 + dt) = v'$. Quindi sarà $V' = v' + txv'$, ossia $V' = v' (1 + tx)$. Per rompere l'aridità di queste formole, e rischiarare la cosa con un esempio, supponiamo di voler conoscere il volume assoluto di un liquido che nel vetro, passando da 0° a 100°, si dilata apparentemente di 0,122536 del suo volume primitivo. Il volume apparente di questo corpo a 100°, ossia v', sarà 1,122536; ed essendo $tx = 0,002584$, avremo $V' = 1,122536 (1 + 0,002584) = 1,125436$.

Deluc, Biot, Gay-Lussac, Thomson, Muncke, Pierre, Frankenheim, Kopp, ecc. idearono a questo intento le più belle esperienze per misurare esattamente la dilatazione dei liquidi. Eccovi i risultati principali dei lavori di Pierre.

Nome delle sostanze	Coefficiente medio di dilatazione		Pesi specifici a 0°	Temperatura d' ebollizione
	a 0°	al punto d'ebollizione		
Acetato d'ossido d'etilo	0,001258496	0,001489001	0,907	74,1
» d'ossido di metilo	0,001295954	0,001484158	0,867	59,5
Alcool amilico	0,001890011	0,001068560	0,827	131,8
» etilico	0,001048630	0,001195509	0,815	78,3
» metilico	0,001185570	0,001329747	0.821	63,0
Bromuro di metilo	0.001415206	0,001493603	1,664	13,0
» d'etilo	0.001337628	0,001448731	1,473	40,7
Ioduro di metilo	0.001199591	0,001327135	2,199	43,8
» d'etilo	0,001142251	0.001263687	1.975	70,0
Butirato d'ossido d'etilo	0,001202792	0,001439571	0,902	119,0
» d'ossido di metilo	0.001239896	0,001440012	1,029	102,1
Aldeida	0,001655523	0.001827064	0,805	22,0
Bromo	0,001038186	0.001167173	3,187	63,0
Cloroformio	0,001107146	0,001320490	1,525	63,5
Cloruro d'etilo	0,001574578	0,001607429	0.921	11,0
» di silicio	0.001294119	0,001563537	1,524	59,0
Etere solforico	0.001513245	0,001647354	0,736	35,5
Olio degli Olandesi	0,001118932	0,001282410	1,280	84,9
Solfuro di carbonio	0,001139804	0,001249336	1,233	47,9

Le leggi conosciute attualmente circa la dilatazione dei liquidi si riducono alle seguenti. 1.° I liquidi, a pari riscaldamento, si dilatano molto più dei sólidi, ossià *le calorie di dilatazione pei liquidi sono*, in generale, *assai minori che pei solidi.* Il mercurio, che fra i liquidi è il meno dilatabile, ad eguali circostanze aumenta di volume più dello zinco, che fra i metalli è quello che si dilata maggiormente. 2.° Per uno stesso corpo le calorie di dilatazione sono notevolmente minori nello stato liquido che nel solido. 3.° La dilatabilità dei liquidi, coll'elevarsi della temperatura, aumenta di più e con minore regolarità di quella dei solidi, ossia, eziandio in questi corpi le calorie di dilatazione diminuiscono coll'aumentare della temperatura. 4.° Fra i liquidi che hanno una costituzione chimica analoga, la dilatabilità è in ragion diretta della volatilità, ossia il più dilatabile è quello che bolle ad una più bassa temperatura. In altri termini, diremo che anche nei liquidi più coerenti, e quindi meno vaporabili, quali sono il mercurio e l'acido solforico, le calorie di dilatazione raggiungono i valori massimi, mentre i minimi valori s'incontrano nei liquidi meno coerenti e più volatili. 5.° Esclusi però gli anzidetti due liquidi più coerenti, per gli altri può dirsi che le differenze nelle calorie di dilatazione da liquido a liquido, sono minori assai delle corrispondenti differenze nei diversi solidi.

Da queste leggi (come osserva il signor Cantoni in quell'ottimo suo libro sulle relazioni fra le proprietà termiche e fisiche dei corpi, ove abbiam attinte le leggi stesse) si deduce una conseguenza importantissima, ed è questa: che tutto quanto affievolisce la coesione delle sostanze, diminuisce altresì il numero delle rispettive calorie di dilatazione. Questo concorda pienamente colla teoria dinamica del calorico; giacchè se la temperatura nei corpi può dirsi un movimento molecolare, che viene più o meno contrastato dalla reciproca attrazione degli atomi, è evidente che, elevandosi la temperatura, e così affievolendosi la coesione coll'aumento delle distanze molecolari, le calorie di dilatazione debbono scemare, diminuendo l'energia degli ostacoli che si oppongono alla dilatazione medesima.

Un'altra cosa poi suggeritaci dalle leggi esposte, e pienamente confermata dalla esperienza, è che i liquidi dilatandosi debbono essere capaci di produrre uno sforzo sorprendente. Imperocchè lo sforzo esercitato da un corpo qualunque nell'atto in cui aumenta di volume è eguale alla forza con cui si dovrebbe comprimerlo, per ridurlo dal volume acquistato al primitivo. Epperò chi si rammenti come i liquidi siano pochissimo compressibili (16), potrà imaginare a quale enorme pressione si dovrà sottoporre

un liquido, per impedire l'effetto di una dilatazione anche appena sensibile. Il mercurio, per esempio, che da 0° a 10° si dilata di 0,0017905, per la pressione di una atmosfera non si contrae che di 0,00000295; quindi qualora, per ipotesi, si volesse riscaldarlo da 0° a 10°, senza permettergli di dilatarsi, bisognerebbe comprimerlo per 600 atmosfere. La cosa è veramente meravigliosa, e ci persuade essere bene meschina l'idea che noi abbiamo circa le forze della natura. Nè si creda che l'esempio addotto sia quello del massimo effetto; giacchè, sebbene il mercurio sia il liquido meno compressibile, è però anche il meno dilatabile.

565. **Dilatazione dell'acqua.** L'acqua nel cambiar di volume per effetto del calorico offre un fenomeno singolare, che fa eccezione alla legge generale. Questo liquido, se da un caldo notabile va man mano raffreddandosi, si contrae come fanno tutti i corpi; ma quando è vicino a gelare, cioè quando è presso alla temperatura di 4°, rompe la regola, e si mette anzi a dilatarsi: al momento poi di gelare si dilata tutto ad un tratto assaissimo. Tale fenomeno, osservato per la prima volta dagli Accademici di Firenze, fu da principio creduto una semplice apparenza, prodotta dal divario fra la contrazione del liquido e quella del recipiente. Ma Blagden nel 1788, e dopo lui Deluc, Rumfort, Häuy, e gli altri fisici hanno constatata la realtà della cosa. Possiamo noi pure averne una prova esperimentale per mezzo dell'apparato *a corona*, cioè di un vaso cilindrico (fig. 521), circondato al suo mezzo da un bacino annulare, e provveduto di due termometri; uno posto alla parte superiore, e l'altro situato presso al fondo. Dapprima si versa acqua a 0° nel vaso cilindrico, e si mette acqua calda nel bacino esterno: ben presto il termometro inferiore segna 4°, mentre l'altro rimane tuttora allo zero. In seguito s'inverte l'esperimento, cioè si riempie il vaso cilindrico di acqua, che abbia una temperatura maggiore di 4°, e nel bacino si pone ghiaccio. Anche in questa nuova condizione dell'esperienza, la prima cosa ad apparire è l'abbassamento a 4° del termometro posto sul fondo dell'apparato, mentre l'altro indica ancora una temperatura più alta, sebbene in seguito arrivi pel primo a 0°. Rumfort dispose le cose in un'altra maniera: circondò di ghiaccio deliquescente un vaso cilindrico, pieno d'acqua, nella quale fissò due termometri, l'uno alla superficie e l'altro presso il fondo; poscia, applicò sulla superficie del liquido un corpo solido e molto caldo: vide allora il termometro più basso, e più lontano

Fig. 521.

segnare la temperatura di 4°, mentre il termometro vicino indicava ancora la temperatura di 0°.

Per formarci un pieno concetto di questo fenomeno, notiamo che: 1.° sebbene l'acqua solidificata a 0° cessa di dilatarsi per un ulteriore abbassamento di temperatura, pure, se è mantenuta allo stato liquido anche sotto a quel punto, continua a dilatarsi, raffreddandosi, mentre il ghiaccio alle stesse temperature si contrae. 2.° L'acqua, raffreddandosi dai 4° in giù, aumenta di volume per una quantità maggiore di quella di cui si dilata quando vien riscaldata per uno stesso numero di gradi dai 4° in su.

Domanderete adesso: qual'è la causa di questo curioso fenomeno offertoci dall'acqua? La questione si trova ancora sul terreno delle congetture. Il supposto più naturale sembra quello di ammettere che le molecole dell'acqua a 4° incominciano ad accostarsi a quelle vicendevoli posizioni che esse debbono definitivamente prendere nel passare allo stato solido, in cui l'acqua ha un volume assai maggiore che allo stato liquido. Questa ipotesi potrà essere confermata dall'esperienza, se col progresso delle cognizioni si troverà modo di osservare, presso il punto di solidificazione, la densità delle altre poche sostanze che, passando allo stato solido, come l'acqua, aumentano di volume.

Qualunque però sia la causa di questa stranissima eccezione, è bello a sapersi che dessa è di somma importanza ed utilità in natura. Qualora l'acqua gelando si contraesse, il ghiaccio andrebbe a fondo: l'acqua che rimarrebbe dissopra, esposta alla crudezza dell'aria, gelerebbe anch'essa, e anch'essa appena gelata discenderebbe al fondo; e così in poco tempo l'acqua di una palude, di un lago, del mare stesso sarebbe cambiata in ghiaccio. I pesci e gli altri animali che vivono nell'acqua rimarrebbero, come a dire, murati entro ad un muro di ghiaccio, e perirebbero. Che più? I laghi ed il mare stesso, al ritornare della stagione calda, non riacquisterebbero lo stato liquido che parzialmente, e diverrebbero altrettanti campi di ghiaccio; sicchè l'oceano non avrebbe più l'influenza prodigiosa e tanto importante che manifesta attualmente nei fenomeni atmosferici; noi saremmo divisi dai popoli che stanno al di là di esso, perchè non sarebbe possibile percorrere questo campo gelato, pittorico all'aspetto, ma troppo pericoloso. La cosa però in realtà avviene altrimenti, a cagione del massimo di densità dell'acqua. La temperatura del mare e generalmente anche dei laghi da una certa profondità in giù è sempre di circa 4°, e solo al dissopra di questo limite varia a seconda della temperatura dell'atmosfera.

566. **Tavola delle densità dell'acqua a diverse temperature.** In qualche caso potrà essere importante di sapere quale densità abbia l'acqua ad una temperatura determinata. Epperò vi presento qui una tavola, in cui sono esposti i volumi e le densità che l'acqua ha da — 9° a + 100°.

Densità e volumi dell'acqua
da — 9° a + 100° secondo **Despretz.**

Temperature	Volumi	Densità	Temperature	Volumi	Densità
— 9°	1,0016311	0,998371	19°	1,00158	0,998422
— 8	1,0013743	0,998628	20	1,00179	0,998213
— 7	1.0011354	0,998865	21	1,00200	0,998004
— 6	1,0009184	0,999082	22	1,00232	0,997784
— 5	1,0006987	0,999302	23	1,00244	0,997566
— 4	1,0005619	0,999437	24	1,00271	0,997297
— 3	1,0004222	0,999577	25	1,00293	0,997078
— 2	1,0005077	0,999692	26	1,00321	0,996800
— 1	1,0002138	0,999786	27	1.00345	0,996562
0	1,0001269	0,999873	28	1,00374	0,996274
1	1,0000730	0,999927	29	1,00403	0,995986
2	1,0000331	0,999966	30	1,00433	0,995688
3	1,000083	0,999999	31	1.00463	0,995391
4	1,000000	1,000000	32	1,00494	0,995084
5	1,000082	0,999999	33	1,00525	0,994777
6	1,0000309	0,999969	34	1,00555	0,994480
7	1,0000708	0,999929	35	1,00593	0,994104
8	1,0001216	0,999878	36	1,00624	0,993799
9	1,0001879	0,999812	37	1,00661	0,993433
10	1,0002684	0,999731	38	1,00699	0,993058
11	1,0003598	0,999640	39	1,00734	0,992715
12	1,0004724	0,999527	40	1,00773	0,992329
13	1,0005862	0,999414	41	1,00812	0,991945
14	1,0007146	0,999285	42	1,00853	0,991542
15	1,0008751	0,999125	43	1,00894	0,991139
16	1,0010215	0,998979	44	1,00938	0,990707
17	1,0012067	0,998794	45	1,00985	0,990246
18	1,00139	0,998612	46	1,01020	0,989903

Densità e volumi dell'acqua
da — 9° a + 100° secondo **Despretz.**

Temperature	Volumi	Densità	Temperature	Volumi	Densità
47°	1,01067	0,989442	74°	1,02499	0,975619
48	1,01109	0,989032	75	1,02562	0,975018
49	1,01157	0,988562	76	1,02631	0,974364
50	1,01205	0,988093	77	1,02694	0,973766
51	1,01248	0,987674	78	1,02761	0,973132
52	1,01297	0,987196	79	1,02823	0,972545
53	1,01345	0,986728	80	1,02883	0,971959
54	1,01395	0,986243	81	1,02954	0,971307
55	1,01445	0,985756	82	1,03022	0,970666
56	1,01495	0,985270	83	1,03090	0,970027
57	1,01547	0,984766	84	1,03156	0,969465
58	1,01597	0,984281	85	1,03225	0,968757
59	1,01647	0,983798	86	1,03293	0,968120
60	1,01698	0,983303	87	1,03361	0,967482
61	1,01752	0.982782	88	1,03430	0,966837
62	1,01809	0,982231	89	1,03500	0,966183
63	1,01862	0,981720	90	1,03566	0,965567
64	1,01913	0,981229	91	1,03639	0,964887
65	1,01967	0,980709	92	1,03710	0,964227
66	1,02025	0,980152	93	1,03782	0,963558
67	1,02085	0,979576	94	1,03852	0,962908
68	1,02144	0,979010	95	1,03925	0,962232
69	1,02200	0,978473	96	1,03999	0,961547
70	1,02255	0,977947	97	1,04077	0,960827
71	1,02315	0,977373	98	1,04153	0,960125
72	1,02375	0,976800	99	1,04228	0,959434
73	1,02440	0,976181	100	1,04315	0,958634

367. **Massimo di densità delle dissoluzioni acquee.** Dopo la scoperta del massimo di densità dell'acqua a 4°, sorse naturale la questione: se il fenomeno sia disturbato dalla presenza di un sale sciolto nel liquido. Da principio la risposta parve dubbia. Ma ben presto, col moltiplicarsi delle esperienze, si conobbe che nelle soluzioni sature dei diversi sali il massimo di contrazione si manifesta a temperature inferiori a 4°, come pure si abbassa il punto di congelazione delle medesime. Eccone i risultati degli esperimenti fatti dal sagacissimo Despretz.

Nome delle sostanze	Peso della sostanza sopra 997,45 d'acqua	Temperatura di congelazione del liquido	Temperatura del massimo di densità
Acqua di mare	»	—1°,88	— 0°,67
Cloruro di sodio	12,346	— 0,81	+ 1,19
»	24,692	— 1,41	— 1,69
»	37,039	— 2,12	— 4,75
»	74,078	— 4,30	— 16,00
Cloruro di calcio	6,173	— 0,22	+ 3,24
»	12,346	— 0,53	+ 2,05
»	24,692	— 1,03	+ 0,06
»	37,039	— 3,92	— 2,43
»	74,078	— 5,28	— 10,43
Solfato di potassa	6,173	— 0,14	+ 2,92
»	12,346	— 0,27	+ 1,91
»	24,692	— 0,55	— 0,11
»	37,039	— 2,09	— 2,28
»	74,078	— 4,08	— 8,37
Solfato di soda	6,173	— 0,17	— 12,52
»	12,346	— 0,36	+ 1,15
»	24,692	— 0,68	— 1,51
»	37,039	— 1,30	— 4,33
»	74,078	— 1,53	— 12,26
Carbonato di potassa	37,039	— 3,21	— 3,95
»	74,078	— 2,25	— 12,41
Carbonato di soda	37,039	— 2,85	— 7,01
»	74,078	— 2,20	— 17,30
Solfato di rame	37,996	— 1,32	— 0,62
Potassa pura	37,039	— 2,10	— 5,63
»	74,078	— 4,53	— 15,95
Alcool	74,078	— 2,83	+ 2,30
Acido solforico	12,346	— 0,44	+ 0,60
»	24,692	— 1,09	— 1,92
»	37,039	— 1,34	— 5,02

Dalla tavola precedente si possono dedurre due principali conseguenze: 1.° la temperatura del massimo di densità di una dissoluzione salina si abbassa più rapidamente, che non la temperatura di congelazione della medesima; 2.° l'abbassamento del punto di congelazione al dissotto dello zero, e quello del massimo di densità al dissotto di 4° sono sensibilmente proporzionali alla quantità di materia sciolta nell'acqua.

568. **Applicazione della dilatabilità dei liquidi.** L'applicazione più bella, che l'arte abbia fatto della dilatabilità dei liquidi, è quella dei *termometri a liquido.* Invece di descrivere questi strumenti che tutti conoscono, sarà cosa amena e non inutile l'indicarvi la maniera di fabbricarli. Per costruire un termometro a liquido, bisogna preparare il tubo, introdurvi il liquido, chiuderlo, e poscia graduarlo.

Metodo per preparare il tubo. Già s'intende da sè che il diametro interiore del tubo di un termometro deve avere un valore costante in ogni sezione, onde lunghezze eguali corrispondano a volumi eguali. Bisogna dunque osservare innanzi tutto se il tubo, che deve servire alla costruzione dell'apparato, abbia questa qualità. A tale intento s'introduce nel tubo stesso una piccola quantità di mercurio, che abbia ivi la lunghezza di uno o due centimetri. In seguito, premendo leggermente questa piccola colonna di mercurio, la si fa scorrere dall'uno all'altro lato, in modo che percorra successivamente tutta la lunghezza del tubo, movendosi parallela ad una scala, divisa in parti eguali, e posta a breve distanza. È facile intendere che questa colonna liquida avrà o no la medesima altezza in ogni posizione, a seconda che il tubo sarà cilindrico, ovvero più o meno irregolare nella sua capacità. Qualora si verifichi il secondo caso, e si voglia pure adoperarlo alla costruzione del termometro, lo si rende calibro, cioè si segnano sulla lunghezza di esso gli intervalli, più o meno grandi, che corrispondono al volume costante della colonna mercuriale, ossia a capacità eguali.

Dopo ciò, si fonde una estremità del tubo, e poi vi si soffia dentro per l'altra estremità, in modo che il vetro, laddove è liquefatto, si gonfia, e costituisce il bulbo. Invece di formare a questo modo la bolla, si può anche saldare all'estremità del tubo un serbatojo cilindrico.

Metodo per introdurre il liquido nel tubo. Preparato il tubo del termometro col suo vasetto, bisogna introdurvi il liquido: e la cosa è men facile che non paja; poichè il tubo è tanto stretto che l'aria ne contrasta l'ingresso. I liquidi usati nei termometri sono, come è notissimo, due, cioè l'alcool ed il mercurio. Quando si adopera quest'ultimo, prima di tutto si salda all'estremità aperta del tubo un imbuto; poscia si scalda l'apparato; indi lo si dispone verticalmente, e vi si versa una piccola quantità di mercurio purissimo. Ognuno s'accorge che, mentre il riscaldamento diminuì la quantità dell'aria interna, il raffreddamento che gli tien dietro contrae quella che vi rimane, sicchè il mercurio, pel proprio peso e per la differenza tra la pressione

interna e l'esterna, dall'imbuto può scendere nel tubo, ed in piccola quantità anche nel vasetto. Se allora s'inclina molto obliquamente lo strumento, diminuisce la pressione che l'aria interna sopporta da parte del mercurio che riempie il tubo, quindi quest'aria respinge il mercurio stesso fino all'imbuto, e da qui esce, aprendosi la strada attraverso di esso. Raddrizzando il tubo, una certa quantità di mercurio penetra nuovamente nella bolla; inclinandolo una seconda volta, si fa uscire un'altra porzione di aria; e così via, operando parecchie volte allo stesso modo, si arriva a riempire quasi totalmente di mercurio la bolla. Però a terminare l'operazione, si fa bollire il mercurio del bulbo, scaldandolo con una fiamma D (fig. 522) ad alcool, oppure disponendo lo strumento sopra una griglia, in modo che il vasetto posi sopra alcuni carboni accesi (fig. 523). A questo modo l'aria, che rimane al dissopra del mercurio, e quella che si trova nascosta nei pori di esso, od impigliata fra il liquido e le pareti, si svolge e sfugge all'esterno; e quando, levato il tubo dal fuoco, il mercurio interno si raffredda, quello dell'imbuto va a riempire l'apparato.

C

D

Fig. 522.

Fig. 523.

Quando poi il termometro deve essere preparato coll'alcool, e non col mercurio, il metodo descritto per riempire il tubo non serve più a cagione della debole densità dell'alcool. Allora si scalda il recipiente sulla fiamma: l'aria interna si dilata, e perciò una parte esce per l'estremità del tubetto. Quindi capovolgendo in seguito lo strumento, e tuffando questa estremità nell'alcool, la poc'aria rimasta nel termometro si contrae nel raffreddarsi, e la pressione atmosferica spinge il liquido a salire nel tubo, e seguitando quella a restringersi, lo porta fin nel serbatojo. Che se, come avviene quasi sempre, il bulbo non si empie alla prima intieramente,

rimanendone una parte occupata tuttavia dall' aria, si ripete l' operazione, e si fa salire nel termometro un altro poco di liquido; e così alla fine si ottiene che esso occupi tutto il bulbo, ed anche un certo tratto della cannetta.

Metodo di chiudere il tubo. Prima di chiudere il termometro, bisogna *regolarne la corsa,* cioè levare od introdurre nel tubo tanto di liquido quanto basti a portare la sommità della colonna all' altezza che si ama scegliere per la temperatura media, di modo che quella possa spostarsi entro certi limiti, senza raggiungere l' estremità del tubo, nè il principio del serbatojo. In seguito, tolto l' imbuto, se vi fu applicato, si chiude il tubo col rammollirne alla fiamma l'estremità, in modo che il vetro stesso appiccicandosi tra sè come pasta, sigilli l' apertura. Questa operazione si può eseguire in due maniere, cioè facendo il vuoto al dissopra della colonna termometrica, oppure lasciandovi ancora aria. Nel primo caso, si comincia ad impiccolire la bocca del tubo, e dopo ciò, si riscalda la bolla fino a che si vegga uscire una piccola goccia di liquido. A questo istante si dirige il dardo della fiamma sulla estremità affilata del tubo; il vetro si fonde, il tubo rimane chiuso, e non resta altro che di modificarne la forma alla estremità, fondendola esternamente, quando la colonna siasi abbassata pel raffreddamento. Nel secondo caso, essendo il termometro alla temperatura dell' ambiente, si presenta l'estremità del tubo al dardo della lampada, e la si chiude ermeticamente; in seguito, la si mantiene rossa ed in istato semiliquido per alcuni istanti, e si scalda prestamente il serbatojo, o colla mano o con un' altra lampada, in modo che la colonna liquida ascenda, e spingendo l' aria in su contro il vetro fuso, formi una specie di serbatojo (fig. 524), più o meno grande, a seconda della pressione esercitata dall' aria stessa. Questo serbatojo superiore è quasi sempre necessario, quando si lascia aria nell'apparecchio.

Fig. 524

Graduazione del termometro. La graduazione del termometro consiste nel segnare due punti fissi sul tubo, o sulla tavoletta che vi è annessa, e nel dividere in parti eguali l'intervallo che separa i punti stessi. Questi due punti fondamentali sono quelli ai quali si ferma l'estremità della colonna liquida quando il tubo vien immerso nel ghiaccio che disgela, e nell' acqua che bollisce. Come ognuno prevede, questa operazione richiede diligenza somma, perchè, se i due estremi della scala fossero mal determinati, le indicazioni dello strumento sarebbero fallaci.

Quanto al punto del ghiaccio non v'è difficoltà a segnarlo con precisione, poichè la temperatura del ghiaccio che si fonde è proprio sempre la stessa, qualunque sia la condizione del fenomeno. S'infossa il tubo in un vaso riempito di ghiaccio (fig. 525), avvertendo però a due cose: 1.° che il ghiaccio sia pestato a minuzzoli, onde sia al contatto col termometro nel miglior modo possibile; e 2.° che l'acqua, prodotta mano mano dal ghiaccio che si liquefa, non rimanga insieme con esso, giacchè quest'acqua può prendere, col lungo andare, una temperatura più elevata di quella del ghiaccio. Dopo alcuni istanti d'immersione, il termometro partecipa alla temperatura della massa deliquescente, e la colonna liquida diviene stazionaria. Allora si segna sul tubo al punto, ove essa arriva, lo zero, ossia l'estremo inferiore della scala termometrica, avendo cura d'osservare la sommità della colonna liquida in una direzione perfettamente orizzontale, onde evitare ogni errore che potrebbe provenire dallo spessore delle pareti.

Fig. 525.

Più delicata è la cosa per ciò che spetta al punto dell'acqua bollente. Per questa operazione si adopera un vaso a lungo collo (fig. 526), nel quale si mantiene sospeso il termometro da graduarsi; vi si versa acqua, che si pone a bollire, in tale quantità però che non ostante l'effervescenza dell'ebollizione non possa mai arrivare fino al termometro. Dopo che l'acqua ha bollito per alcuni istanti, il termometro viene investito in ogni parte da un bagno di vapore, la cui temperatura è uniforme ed eguale a 100°, se la pressione atmosferica è di 76 centimetri. Ben presto la colonna mercuriale arriva ad un punto fisso, che è il punto d'ebollizione dell'acqua; lo si segna prima coll'inchiostro, e poscia col diamante, avendo la stessa precauzione accennata poc'anzi.

Fig. 526.

Ma badate alla condizione apposta, cioè che la pressione atmosferica deve essere di 76 centimetri, onde la temperatura della massa ga-

siforme sia di 100°. Il motivo di queste parole vi riescirà evidente più innanzi. Ora però vi faccio sapere che se pertanto nel luogo e nel momento in cui l'artefice segna il punto d'ebollizione, lo stato dell'aria è tale che il barometro non arrivi ai 76 centimetri, oppure ne sia un poco più alto, converrà fare una correzione. Wollaston ha trovato esperimentalmente che una differenza di 27 millimetri, al dissopra o al dissotto del punto accennato, eleva od abbassa di un grado centigrado la temperatura di ebollizione. Per le piccole variazioni nella pressione atmosferica si può ammettere che vi sia proporzionalità in questi effetti. Se pertanto la pressione atmosferica è $760^{mm} \pm y$, si avrà $27^{mm} : y^{mm} = 1^{o} : x^{o}$; ed invece di dividere l'intervallo fra i punti fissi in 100 parti eguali, lo si dovrà dividere in $100 \pm x$, ossia in $100 \pm \frac{y}{27}$. Che se si bramasse una precisione maggiore, allora si consultino le tavole, delle quali parleremo più tardi, che indicano, in decimi di grado, le temperature d'ebollizione dell'acqua, corrispondenti alle diverse pressioni atmosferiche.

L'intervallo fra i due punti fissati viene comunemente diviso in 100 gradi, ossia 100 parti di eguale capacità: le divisioni si continuano anche al di là dei due punti fondamentali: quelle che sono al dissopra dello zero s'indicano coi numeri positivi, e quelle che stanno sotto al medesimo punto si rappresentano coi numeri negativi, ed il loro assieme costituisce la scala termometrica. Quando siasi adoperato un tubo esattamente cilindrico, basta porlo sulla macchina delle divisioni, contare il numero dei giri di vite necessarj per percorrere tutto lo spazio compreso fra i punti del ghiaccio deliquescente e dell'acqua bollente, e prenderne la centesima parte, la quale rappresenterà il numero dei giri e delle frazioni di giro, che bisogna fare colla vite, partendo dallo zero, onde il diamante arrivi ai punti successivi, dove deve segnare i gradi di 1°, 2°, 3°, ecc. Quando poi il tubo, non essendo cilindrico, fosse stato calibrato, cioè diviso in parti di eguali capacità, delle quali ciascuna può essere ritenuta come cilindrica, allora si conta dapprima il numero di queste parti, che si trovano fra i due punti del ghiaccio e dell'ebollizione. Siano, per esempio, 15,75; ciascun grado corrisponde dunque a 0,1575; si sappia inoltre che la lunghezza della prima capacità (quella nella quale si trova lo zero) corrisponda ad n giri della vite nella macchina delle divisioni; la seconda ad n' giri, ecc. In tal caso, partendo dallo zero, bisognerà fare un numero di giri $0,1575n$ per arrivare al 1°; poscia, da questa capacità pas-

sando alla seguente, bisognerà per ciascun grado o frazione di grado fare un numero di giri in ragione di $0{,}1575n'$, ecc.

569. **Differenti scale termometriche.** Ogni divisione della scala precedente si chiama *grado centigrado*, o *centesimale*, e la scala dicesi *centesimale*, o di Celsius. Non bisogna credere però che il modo esposto sia il solo usato nella divisione dello spazio compreso fra i due punti fondamentali del termometro. Reaumur divide questo spazio in 80 parti, e segna 0° alla temperatura di fusione del ghiaccio, e 80° alla temperatura d'ebollizione dell'acqua; Fahrenheit invece lo divide in 180 parti, e segna 32° alla temperatura di fusione del ghiaccio, e 212° a quella d'ebollizione dell'acqua; Delisle divide la medesima lunghezza in 150 parti, e mette 0° all'estremo inferiore e 150° al punto superiore. Per questa diversità di divisioni adottate nella scala termometrica, ognuno vede la necessità di indicare la scala del termometro adoperato, ogniqualvolta si enuncia una temperatura. La scala centigrada la si indica coll'iniziale C, quella di Reaumur coll'iniziale R, quella di Fahrenheit colla F, e quella di Delisle colla D.

Volendo poi tradurre i gradi di una scala in quelli di un'altra, basta osservare che le diverse scale stanno fra loro nelle seguenti proporzioni:

$$C : R = 100 : 80 = 10 : 8 = 5 : 4 \quad | \quad R : F = 80 : 180 = 8 : 18 = 4 : 9$$
$$C : F = 100 : 180 = 10 : 18 = 5 : 9 \quad | \quad R : D = 80 : 150 = 8 : 15 = 8 : 15$$
$$C : D = 100 : 150 = 10 : 15 = 2 : 3 \quad | \quad F : D = 180 : 150 = 18 : 15 = 6 : 5$$

Dalle quali si ottiene:

$$C = R \cdot 5/4 \;;\; R = C \cdot 4/5 \quad | \quad R = F \cdot 4/9 \;;\; F = R \cdot 9/4$$
$$C = F \cdot 5/9 \;;\; F = C \cdot 9/5 \quad | \quad R = D \cdot 8/15 \;;\; D = R \cdot 15/8$$
$$C = D \cdot 2/3 \;;\; D = C \cdot 3/2 \quad | \quad F = D \cdot 6/5 \;;\; D = F \cdot 5/6.$$

570. **Spostamento dello zero.** Su questa materia della graduazione non è da ignorare un fenomeno che costringe ad usare un'altra avvertenza. Verso il 1823 fu osservato, dal Bellani in Italia e dal Flangergues in Francia, che in generale l'estremo inferiore della scala termometrica, ossia lo zero col tempo, cangia di posto, ed arriva ad allontanarsi dal sito primitivo fino per due gradi, come se il recipiente divenisse più piccolo. Questo curioso fenomeno suol dirsi spostamento dello zero, e dipende da ciò che le diverse parti del bulbo del termometro, dopo di esser state esposte alla temperatura d'ebollizione del mercurio, non raffreddano colla medesima rapidità, cosicchè le parti interiori, congiunte alle esteriori già rassodate, non possono liberamente e immediatamente pigliare quelle posizioni che dovreb-

bero, ma a poco a poco vi si accostano fino ad un certo limite, e colla massima lentezza, perchè contrastate dalle altre parti. Lagrand seppe constatare che questo interno movimento molecolare si rallenta progressivamente, e continua per parecchi mesi, ed anche per qualche anno. Che se dopo questo tempo, si porta nuovamente l'istrumento alla temperatura d'ebollizione del mercurio, lo zero riprende la sua posizione primitiva.

Per evitare lo spostamento dello zero, basta far bollire il mercurio in un bagno d'olio, posto in un secondo bagno di sabbia, ed ivi lasciarlo poi anche a raffreddare lentamente.

Despretz osserva che lo spostamento dello zero può continuare fino a quattro o cinque anni; e viene determinato anche da notevoli variazioni di temperatura. Portando il termometro a 100°, lo zero può abbassarsi di un mezzo grado; e lasciandolo esposto ad un freddo prolungato, lo zero si eleva.

Ognuno sa imaginare gli inconvenienti che possono dipendere dallo spostamento dello zero, e s'accorge che nelle esperienze delicate converrà adoperare termometri stagionati, cioè chiusi da qualche tempo, ed in ogni caso non bisognerà dimenticare di osservare spesso la posizione dello zero, specialmente se il termometro rimase esposto per un tempo notevole a temperature molto elevate o molto basse. Per diminuire la grandezza dello spostamento dello zero, nella graduazione del termometro è bene segnar lo zero prima dell'ebollizione. Pierre osserva inoltre che è conveniente di preferire i tubi fatti di vetro ordinario a quelli di cristallo; e Regnault insegna esser molto minore il fenomeno, se il bulbo del termometro vien soffiato, nella fabbrica del vetro stesso, immediatamente dopo la costruzione del tubo.

571. **Termometri a massimo e minimo**. Importa sovente di conoscere quale sia stata la massima o la minima temperatura in un dato luogo, entro un periodo determinato di tempo, senza che alcuno stia a far la guardia al termometro, per cogliere il momento in cui cessa di camminare in un verso, e comincia a moversi nel senso opposto. A questo bisogno soddisfano i termometri a *massimo e minimo,* nei quali rimane un segno sicuro così della massima come della minima temperatura, a cui vennero esposti.

Nei termometri metallici (557) l'intento si ottiene facilmente impernando assieme coll'indice dei gradi due altri aghi. In questi per altro il pernio non è saldato, come lo è in quello dei gradi, ma semplicemente infilato con pochissimo attrito, sicchè riescono agevolissimi da movere. L'indice termometrico è in mezzo

ad essi, e non può camminare nè per un verso nè per l'altro, se non spingendo davanti a sè l'uno o l'altro di quelli. Ciò posto, l'ufficio del congegno è palese: quando il caldo cresce, l'indice gira in un verso, e caccia innanzi l'ago che trova sulla sua strada; quando poi il caldo diminuisce, l'indice torna addietro, ma l'ago naturalmente rimane a quel luogo estremo dove fu spinto. Che se la temperatura continua a diminuire, l'indice passa finalmente pel luogo dove era in principio, e trova ben presto l'altro ago, e lo spinge, finchè rialzandosi la temperatura non comincia l'indice stesso a retrocedere, lasciando l'ago dov'è arrivato.

Anche nei termometri a liquido può aversi lo stesso vantaggio in varj modi, fra i quali il più semplice è forse *quello di Rutherford* (fig. 527). Sopra una tavoletta sono fermati due termometri,

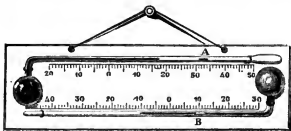



Fig. 527.

l'uno ad alcool, l'altro a mercurio: nel tubo del primo v'è un cilindretto di vetro, e nel tubo del secondo havvene uno di ferro o d'acciajo. Se la tavoletta è collocata in modo che i termometri sieno orizzontali, il mercurio, dilatandosi, spinge innanzi a sè il cilindretto di metallo; ma quando poi si restringe, lo lascia al posto dove lo ha spinto, perchè non ha con esso tanta adesione da trascinarlo seco. Il cilindretto di metallo rimane dunque al segno del massimo caldo. L'alcool in quella vece, nel restringersi pel freddo, si tira addietro il suo cilindretto; ma quando poi si dilata, gli passa di sopra e dai fianchi (giacchè il cilindretto non è sì grosso da occupare tutta la larghezza del vano del tubo), e così lo lascia al segno del massimo freddo. I due termometri sono fermati sulla tavoletta in positure opposte, cioè in modo che da quella parte ove un d'essi ha il bulbo, l'altro ha l'estremità del tubetto. Perciò poi, quando si vogliono rimettere i due cilindretti ai loro luoghi per cominciare un'altra prova, basta inclinare la tavoletta in maniera che il bulbo del

termometro a mercurio venga a trovarsi in basso. Allora il cilindretto del massimo sdrucciola in giù, accostandosi al bulbo, finchè non arriva a porsi a galla sul mercurio. Ma intanto il termometro ad alcool, si trova col bulbo in alto, e perciò il cilindretto del minimo, sdrucciolando pure in giù per entro all'alcool, si allontana dal bulbo, e arriva finalmente all'estremità della colonna liquida; e quivi si arresta.

Termometro a massimo di Walferdin. Walferdin ha fabbricato un termometro a massimo, il quale differisce dai termometri ordinarj a mercurio in questo che il tubo all'estremità superiore ha un doppio rigonfiamento (fig. 528), che si abbassa al dissotto dell'estremità medesima, e contiene una buona porzione di mercurio. Facile è l'uso di questo strumento. Avanti che lo si esponga alla temperatura da osservare, si scalda il bulbo inferiore del termometro, fino a che il mercurio, dilatandosi, comincia a debordare dall'estremità affilata del tubo. Allora si capovolge lo strumento, e lo si lascia raffreddare in tale posizione fino ad una temperatura più bassa di quella a cui lo si deve esporre. È chiaro che, venendo così la bocca del tubo ad immergersi totalmente nel mercurio del rigonfiamento, una porzione del liquido stesso deve salire nel tubo, quando la massa si contrae nel raffreddarsi. Così il termometro è caricato, e non rimane che di metterlo nella posizione naturale, al luogo di cui vuolsi conoscere il massimo di caldo. Ognuno indovina che, raffreddandosi il termometro, il mercurio del tubo non aumenta nè diminuisce; ma se la temperatura si eleva, una parte di questo liquido deborda dal tubo nel rigonfiamento, nè può in seguito rientrarvi. La quantità uscita a questo modo è naturalmente proporzionale all'altezza della temperatura, a cui il termometro venne esposto. Basterebbe pertanto misurare quello, onde sapere questa. Ma s'intende che può ottenersi l'intento in maniera più facile e più sicura, riscaldando in un bagno il termometro di Walferdin insieme ad un altro termometro ordinario, parimenti a mercurio, ed esattamente comparabile col primo, sino a che il liquido nel termometro a debordamento raggiunga la sommità del tubo, e sia prossimo a scaturirne. La temperatura indicata a questo istante dal termometro campione è senza dubbio la più elevata a cui l'altro termometro venne esposto.

Fig. 528.

Un altro termometro a massimo ed a minimo è *quello di Six*,

perfezionato dal *Bellani* (fig. 529). Ad un serbatojo cilindrico, alto poco meno di un termometro ordinario, si unisce un tubo ricurvo a braccia poco differenti, e di lunghezza maggiore di quella del serbatojo. La parte curva *i* di questo tubo è piena di mercurio, che si eleva per una buona quantità nei due bracci; nel serbatojo, e in tutta la parte superiore del braccio che gli tien dietro immediatamente, havvi alcool; ed al dissopra del mercurio nell'altro braccio havvi alcool ed aria, che riempie il bulbo *r'* in cui termina il tubo. Nell'alcool del tubo, così nell'una come nell'altra parte, è disposto un piccolo cilindro di ferro, involto da un tubetto di vetro, il quale all'estremità inferiore, per cui ordinariamente riposa sul mercurio, è appiatito, ed all'altro estremo porta un crine in forma di branca. Questo crine preme le pareti del tubo termometrico, in maniera di tener sospeso l'indice, quando è semplicemente immerso nella colonna di alcool; ma se il mercurio fa salire l'indice, l'elasticità della branca non ne impedisce per nulla il movimento. Per questa disposizione, avviene che il cilindretto si eleva o rimane in riposo, a seconda che il mercurio lo sospinge o lo abbandona. Allorchè si vuol porre l'apparato in esperienza, si fanno discendere i due indici fino a toccare le due estremità della colonna mercuriale, per mezzo di una calamita, che agisce per attrazione sui due cilindretti di ferro, anche traverso al vetro. Se si riflette che. elevandosi la temperatura, la colonna mercuriale. per la dilatazione dei due liquidi, dovrà salire nel braccio contenente aria, e che, al contrario, abbassandosi la temperatura, si eleverà invece la colonna del mercurio nell'altro braccio, s'intenderà facilmente come l'indice della prima colonna indicherà colla sua posizione il massimo di temperatura a cui venne esposto, e l'indice della seconda segnerà il minimo.

Fig. 529.

Termometrografi. Negli osservatorj meteorologici si adoperano dei termometri che a colpo d'occhio fanno conoscere non solo la massima e la minima temperatura, ma anche tutte le variazioni che sono avvenute in un periodo determinato di tempo. Questi strumenti hanno ricevuto il nome di *termometrografi.* Ve

ne faccio conoscere due soli, quello di Breguet, e quello di Despretz; ma basteranno, io spero, a darvi un'idea abbastanza esatta di questi curiosi strumenti.

Il termometrografo di Breguet non è altro che il termometro metallico dello stesso nome (557), collocato sopra una piccola cassetta, ove è contenuto un sistema d'orologeria, che fa scorrere sotto all'indice del termometro un foglio di carta orizzontale, sulla quale sono tracciati 24 archi di cerchio eguali. All'estremità dell'indice termometrico è unito un piccolo tubo verticale che si riempie d'inchiostro di stamperia, ed il movimento del congegno è tale che i 24 archi della carta passano successivamente sotto la punta dell'indice nel periodo di una giornata, sicchè ad ogni ora uno di essi si trova proprio nella verticale della punta stessa. Nell'istante medesimo una molla a spira, mossa parimenti dall'orologio, abbassa rapidamente la punta dell'indice, che va così a segnare un punto nero sull'arco che gli sta sotto. Già s'intende da sè che la posizione di questo punto sull'arco fa conoscere la direzione dell'indice, e per conseguenza la temperatura, corrispondente in quell'ora al passaggio dell'arco stesso per la verticale della punta.

Il termometrografo di Despretz segna la temperatura del luogo ad ogni istante della giornata, e consiste in una lamina bimetallica (di ferro e rame) lunga da due a tre metri, e verticalmente fermata all'estremità superiore. Quando la temperatura varia, l'estremo inferiore, a cui è fissata una matita, si sposta a destra od a sinistra, per effetto dell'ineguale dilatazione dei due metalli, e così descrive una curva che poco differisce da un arco di cerchio. Un foglio di carta, sul quale appoggia costantemente l'estremità della matita, sotto l'azione di un meccanismo d'orologeria, si move in un piano verticale, sicchè la matita vi traccia una linea le cui inflessioni indicano le variazioni di temperatura. Una linea verticale, corrispondente alla posizione rettilinea della lamina bimetallica, serve come punto di partenza per computare le lunghezze orizzontali, che rappresentano le differenze tra le temperature segnate e quella a cui la lamina è rettilinea.

572. **Limiti — confronto — e sensibilità dei termometri**. Prima di passar oltre, voglio farvi osservare alcune cose circa i limiti, il confronto e la sensibilità dei termometri. Innanzi tutto, non bisogna dimenticare che l'indicazione di un termometro ha niente di assoluto, perchè lo zero della scala è arbitrario e convenzionale. Quindi se un termometro in un ambiente segna, per esempio, 10°, non possiamo dire che la temperatura del

luogo è doppia di quella a cui si trovava quando il termometro notava 5°; giacchè se si rappresenti con x^0 il numero dei gradi compresi fra lo zero assoluto e quello di convenzione, le due temperature dell'ambiente si esprimeranno per $x^0 + 10^0$, ed $x^0 + 5^0$. Ognuno indovina che la prima di queste quantità non è doppia della seconda, se non sia $x^0 = 0$; il che non è, perchè i corpi allo zero del termometro possono essere raffreddati maggiormente.

Premessa questa notizia generale sul valore delle indicazioni termometriche, avvertiamo che un termometro a mercurio può servire per le temperature comprese fra -30^0 e $+350^0$, e non per le altre, giacchè al di là di questi limiti la dilatazione del mercurio diventa irregolare, avvicinandosi esso al punto di solidificazione o d'ebollizione. I termometri ad alcool non sono opportuni per le alte temperature, giacchè questo liquido bolle a 79°; ma servono ottimamente per le temperature anche bassissime, non essendosi ancora ottenuto un raffreddamento sufficiente alla solidificazione completa dell'alcool.

Quanto al confronto dei termometri, basterà sapere che in generale due o più termometri a mercurio, fra i due limiti menzionati, sono comparabili, cioè, posti nelle medesime condizioni, indicano lo stesso numero di gradi. Ciò però esige che i tubi dei termometri siano della stessa natura; giacchè in questi strumenti non è la dilatazione assoluta del mercurio che rendesi manifesta, ma l'apparente. Se, per esempio, il vaso di un termometro è di vetro ordinario, e l'altro è di cristallo, i due strumenti sono d'accordo fino a 100°, ma in seguito le indicazioni dell'uno differiscono da quelle dell'altro, e tanto più quanto più elevate sono le temperature.

Relativamente poi ai termometri ad alcool, la cosa è ben diversa. Questi, anche fabbricati con ogni cautela, e con vetri della stessa qualità, possono mostrare notevoli differenze nelle loro indicazioni. Non vi paja che questo sia in contraddizione con ciò che abbiam detto circa la dilatazione dei corpi; giacchè: 1.° un piccolo divario di temperatura può produrre, a motivo dell'irregolare dilatazione dell'alcool, una notevole differenza nei cambiamenti di volume dei liquidi dei termometri paragonati; e 2.° non si dimentichi essere difficile, per non dire impossibile, che due o più termometri ad alcool siano fabbricati con liquidi proprio identici, che abbiano cioè il medesimo grado di concentrazione.

Finalmente, circa la sensibilità del termometro bisogna sapere che, onde lo strumento indichi prontamente le variazioni di tem-

peratura deve avere qualità diverse da quelle che lo rendono capace di mostrare anche i piccoli cangiamenti, che avvengono nella temperatura stessa. Nel primo caso è bene che il tubo sia stretto, ed il bulbo piccolissimo, e tale da contenere la minima quantità di mercurio, avendo relativamente la massima superficie; quindi un vasetto cilindrico è preferibile ad uno sferico, e tanto meglio riesce quanto maggiore ne è l'altezza in ordine al diametro. Nel secondo caso conviene ancora che il termometro abbia un tubo strettissimo, ma il bulbo dev'essere in quella vece assai grande. Non è però difficile fabbricare termometri che servino all'uno ed all'altro intento, a condizione che i limiti delle temperature estreme per ciascheduno siano molto ristretti. Qualora si faccia uso di siffatti termometri per osservare temperature molto discoste fra loro, bisognerà pertanto adoperarne diversi.

ARTICOLO TERZO

CANGIAMENTI DI VOLUME DEGLI AERIFORMI.

573. **Esperienza di Volta sulla dilatazione dell'aria.** Gli aeriformi si dilatano moltissimo quando sono scaldati, ed ognuno può facilmente averne prove esperimentali. La scoperta delle leggi di questo fenomeno non fu l'opera nè di un sol uomo, nè di un sol giorno. Molti sagacissimi esperimentatori vi concorsero con instancabile attività. Volta fu uno dei primi che tentò di misurare la dilatabilità dell'aria, ed il metodo da lui adoperato fu il seguente. Dopo d'aver misurata diligentemente la capacità di un pallone di vetro, unito ad uno stretto tubo cilindrico minutamente graduato, v'introdusse una tenue quantità di olio, lasciandone il resto occupato dall'aria. Poscia, fatto bollir l'olio, per espellere tutta l'umidità aderente al vetro, turò colla mano la bocca del recipiente, e capovolto lo sommerse in un piccol tino pieno d'acqua. L'aria racchiusa sorse naturalmente alla cima, occupando la capacità del globo e la porzione più elevata del tubo, dove, oltre alla pressione atmosferica, essa sopportava anche parte di quella dell'acqua del tino, cui l'olio contenuto nel recipiente non faceva equilibrio che parzialmente. Dopo ciò, l'illustre fisico fece passare quest'aria per tutti i gradi di temperatura da quella del ghiaccio deliquescente sino al punto d'ebollizione dell'acqua. Egli osservava, di grado in grado, quanto si dilatasse nel tubo l'aria raccolta nel suo semplicissimo apparato; e siccome la pressione non era sempre la medesima, per-

chè, abbassandosi la superficie di separazione dell'aria dall'olio, aumentava la pressione esercitata dall'acqua sul gas interno, così il Volta aveva cura di calcolare e correggere l'errore. In tal maniera trovò che, non variando la pressione atmosferica durante l'esperienza, per ogni grado di riscaldamento, indicato da un termometro a mercurio ed a scala di Reaumur, cresceva il volume dell'aria pressochè uniformemente di circa $\frac{1}{216}$ del volume primitivo a 0°, e che da 0° a 80°R aumentava nella proporzione di 100 a 137 circa.

L'esperienza del Volta era sagacemente ideata; ma pare ch'egli non abbia tenuto conto della dilatazione del vetro, la quale fa comparire l'effetto alquanto minore del vero. Pertanto, al risultato da lui ottenuto è da aggiungersi ciò che viene dissimulato dall'aumento di volume del vetro, ossia 0,0026 del volume a 0° per un riscaldamento di 80°R. Così la dilatazione dell'aria da 0° a 80°R sarebbe eguale a 0,3735 all'incirca del volume a 0°.

374. **Esperienza di Gay-Lussac sulla dilatazione dell'aria.** Pochi anni dopo, Gay-Lussac confermò il risultato delle esperienze di Volta. L'apparato da lui adoperato essenzialmente non differisce da quello del dotto italiano. Esso consiste in un serbatojo sferico A (fig. 330) di nota capacità, fornito di un tubo capillare AB

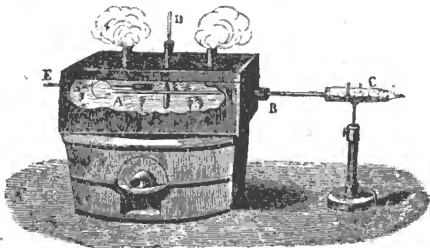



Fig. 330.

diviso in parti eguali. Per sapere, con questo strumento la dilatabilità dell'aria, innanzi tutto lo si riempie di mercurio e lo si mette a fuoco, onde il liquido, bollendo, abbia a disseccarsi. Poscia, all'estremità del tubo capillare si fissa un piccolo recipiente cilindrico C, pieno di sostanze avide del vapor acqueo, quale potrebbe essere, per esempio, il cloruro di calcio: s'introduce nel tubo, attraverso al cilindro C, un filo di platino sottilissimo,

e lo si agita, inclinando a poco a poco l'apparato, in modo che il mercurio abbia ad uscire a goccia a goccia, lungo il filo, quando s'imprimano leggeri scosse all'apparecchio medesimo. Così facendo, l'aria rientra nel serbatojo, dopo d'esser stata disseccata nel recipiente C. Si continua l'operazione, finchè di mercurio non ne rimanga nello strumento che una piccola quantità, lungo il tubo AB, la quale serva di turacciolo e di indice. Dopo ciò, si mette il tutto in una cassa rettangolare di latta, piena di ghiaccio deliquescente; e si segna il punto dove l'indice di mercurio si stabilisce. È evidente che allora, essendo nota la capacità del serbatojo, si conoscerà il volume dell'aria a 0°. In seguito si leva dalla cassa il ghiaccio, vi si versa acqua od olio, e, ponendola sopra un fornello ordinario, si scalda il liquido e l'aria racchiusa nello strumento fino ad una temperatura fissa, che viene indicata da due termometri D ed E. Notando il punto a cui s'arresta l'indice di mercurio, si viene a sapere il volume dell'aria alla temperatura del riscaldamento.

Ognuno capisce che, supponendo costante la pressione atmosferica per tutto il tempo dell'esperienza, e trascurando la dilatazione del vetro, l'eccesso del volume, che l'aria racchiusa nell'apparato ha alla temperatura finale, sul volume della medesima a 0°, esprime la quantità di cui essa si dilata, passando da 0° a quella temperatura. Per conoscere poi la dilatazione dell'unità di volume per 1° di riscaldamento, ossia il coefficiente di dilatazione della massa gasosa in esperimento, converrà dividere quel primo numero per la temperatura finale, e pel numero delle unità di volume comprese nel volume dell'aria stessa a 0°. Con questo processo Gay-Lussac trovò che l'aria asciutta da 0° a 100° si dilata pressochè uniformente per la quantità 0,375, ed in conseguenza che, per ogni grado centesimale di riscaldamento, la dilatazione è di 0,00375, ossia di $\frac{3}{800}$ del volume a 0°. Per la stessa via Gay-Lussac giunse a scoprire anche che, fra i due limiti accennati, tutti i gas, semplici o composti, si dilatano egualmente, allo stesso modo dell'aria, e che i loro coefficienti di dilatazione sono eguali a quello dell'aria stessa. Dulong e Petit confermarono la scoperta di Gay-Lussac, e conobbero di più che da 100° in su il coefficiente di dilatazione dei gas diminuisce, quando la temperatura, indicata da un termometro a mercurio, aumenta.

575. **Esperienze di Regnault sulla dilatazione dell'aria e degli altri gas.** I risultati ottenuti da Gay-Lussac furono per alcun tempo ammessi da tutti i dotti, specialmente

dopo le esperienze di Dulong e Petit. Ma, passata una ventina d'anni, Rudberg annunciò che l'adottato coefficiente di dilatazione dell'aria era maggiore del vero, e che questo non poteva oltrepassare il numero 0,00365. Tale conclusione destò nei contemporanei, ammiratori di Gay-Lussac e di Dulong, una scusabile diffidenza; e forse la cosa sarebbe così rimasta sul terreno delle congetture, se Regnault, in una serie di bellissime esperienze, non l'avesse discussa con esattezza sorprendente. Uno dei metodi impiegati da Regnault è analogo ad uno imaginato da Rudberg, ed è quello che stiamo per farvi conoscere. L'apparecchio adoperato risulta da un serbatojo cilindrico B (fig. 531),

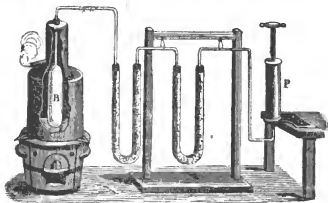
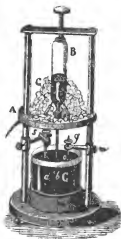



Fig. 531.

al quale è saldato un tubo capillare ricurvo. Questo serbatojo è posto in un vaso di latta, come appare nella figura, e per mezzo di una lamina di gomma elastica è unito ad una serie di tubi piegati a forma di U, riempiti di sostanze igrometriche, e comunicanti con una piccola pompa P ad aria. Per tale disposizione, è facile riempire il serbatojo di aria perfettamente secca. Quand'esso sia inviluppato di vapore d'acqua a 100°, manovrando la pompa, si estrae dall'apparecchio una porzione dell'aria contenutavi ed anche dell'umidità prima aderente alle pareti, e passata in seguito allo stato aeriforme. Poscia, lasciando rientrare nella pompa l'aria esterna, questa passa nei tubi disseccanti, ed arriva nel serbatojo priva di vapori acquei. È naturale che, ripetendo più volte la stessa operazione, l'umidità interna diminuirà continuamente, finchè si arriverà ad un punto in cui l'aria dell'apparecchio sarà completamente disseccata. Allora, quando la temperatura dell'aria stessa sia divenuta quella

del vapore circostante al serbatojo, si distaccano i tubi ad U, e si chiude alla lampada l'estremità del tubo capillare, notando l'altezza H del barometro al momento di questa operazione. Dopo ciò, si leva il serbatojo B del vaso di latta, e lasciatolo raffreddare, lo si colloca nell'apparecchio rappresentato dalla figura 532. Qui lo si circonda completamente di ghiaccio, s'immerge l'estremità del tubo capillare in un vaso C pieno di mercurio, e quando sia certo che il serbatojo B è a 0°, si rompe con una pinzetta la punta *b*. Non è difficile indovinare cosa avviene a questo istante: essendo diminuita la tensione dell'aria interna pel raffreddamento subito, il mercurio del vaso C, ascende nel tubo e penetra nel serbatojo per effetto dell'aria esterna, elevandovisi fino ad una altezza, che diremo *h*, tale che, aggiunta alla forza elastica dell'aria interna, faccia equilibrio alla pressione atmosferica. Per misurare l'altezza della colonna *h*, si abbassa un'asta mobile *go*, sino a che la punta *o* sfiori la superficie del mercurio nel vaso C; poi si misura col catetometro (20) la differenza di altezza fra l'estremità *g* ed il livello del mercurio in G. Aggiungendo a questa differenza la lunghezza nota dell'asta *go*, si viene evidentemente a conoscere l'altezza *h* della colonna mercuriale nell'apparecchio. Indi, tenuto conto dell'altezza barometrica H′ in quel momento, si chiude con un po' di cera la punta *b*, si toglie il serbatojo dal mezzo del ghiaccio, e lo si pesa, onde sapere il peso P del mercurio contenutovi. Finalmente, si riempie di mercurio a 0° il serbatojo stesso, e si determina il peso P′ di tutto il liquido dell'apparecchio.

Fig. 532.

Con questi dati esperimentali la matematica fornisce una regola semplicissima od una formola, mediante la quale si può conoscere con tutta precisione il coefficiente di dilatazione dell'aria; e siccome tal regola occorre in moltissimi altri casi, è bene sapere come la si stabilisca. Innanzi tutto chiamiamo *k* il coefficiente di dilatazione del vetro, *x* quello dell'aria, e D la densità del mercurio a 0°. Ciò posto, cominciamo dal riflettere che la capacità del serbatojo e del tubo a 0°, ossia il volume dell'aria contenutavi, è espressa da $\frac{P'}{D}$ (15 e 32); e per conseguenza a *t*°, ed alla pressione H del momento in cui si

chiuse il tubo alla lampada, è espressa da $\frac{P'}{D}(1+kt)$ (550); ed alla pressione di $0^m,76$ è rappresentata da $\frac{P'(1+kt)H}{0^m,76 \cdot D}$ (171 — 1°).

Ma lo stesso volume si può rappresentare in altra maniera. Al punto in cui si chiuse il tubo colla cera, la pressione dell'aria contenuta nel serbatojo era evidentemente $H'-h$, ed il volume alla temperatura 0° era $\frac{P'-P}{D}$. Quindi, sotto la medesima pressione ed alla temperatura t^0, questo volume sarà $\left(\frac{P'-P}{D}\right)(1+xt)$; ed alla pressione di $0^m,76$ diviene $\frac{(P'-P)(1+xt)(H'-h)}{0,76 \cdot D}$.

Le due formole stabilite indicano una medesima cosa (i volumi del serbatojo e del tubo a t^0, ed alla pressione di 76 centimetri), epperò sono eguali, ossia $P'(1+kt)H=(P'-P)(1+xt)(H'-h)$; da cui si ottiene $x=\frac{P'H(1+kt)}{t(P'-P)(H'-h)}-1$.

Col metodo descritto, Regnault ha stabilito che il coefficiente dell'aria, sotto la pressione atmosferica, è 0,003665, ossia $\frac{1}{273}$; e Babinet osservò che, adottando il numero 0,003666, si può sostituirvi la frazione $\frac{11}{3000}$, che è molto comoda nel calcolo.

Regnault, avendo inoltre estese le sue esperienze a conoscere le variazioni prodotte nel coefficiente dell'aria dai cangiamenti di pressione, pervenne a scoprire che esso aumenta sensibilmente colla pressione, come appare dalla tavola seguente.

Pressione a 0° in millimetri	Pressione a 100° in millimetri	Dilatazione per 100°
109,72	149,31	0.36482
174,36	237,17	0,36513
266,06	395,07	0,36542
375,23	510,97	0,36572
760,00	——	0,36650
1678,40	2286,09	0.36760
2144,18	2924,04	0,36894
3655,56	4992,09	0,37091

576. **Dilatazione degli altri gas**. Un'altro frutto della perspicacia e dell'attività instancabile di Regnault fu la scoperta della maniera di dilatazione degli altri gas, a volume, oppure a pressione costante. Eccone i risultati.

Nome del gas	Dilatazione per 100° sotto la pressione di 760mm		Dilatazione sotto forti pressioni	
	a pressione costante	a volume costante	Dilatazione per 100° sotto press. costante	Pressione a 0° in millim.
Aria	0,3670	0,3665	0,36944	2525
Azoto	»	0,3668	»	»
Idrogeno	0,3661	0,3667	0,36616	2346
Ossido di carbonio	0,3669	0,3667	»	»
Acido carbonico	0,3710	0,3688	0,38455	2522
Protossido d'azoto	0,3719	0,3676	»	»
Acido solforoso	0,3903	0,3845	0,39800	983
Cianogeno	0,3877	0,3829	»	»

Da questa tavola appare che: 1.° i gas che possono essere ridotti allo stato liquido hanno diversi coefficienti di dilatazione, mentre gli altri hanno coefficienti sensibilmente eguali, sotto la pressione atmosferica. 2.° Per ciascuna sostanza, se pure eccettuasi l'idrogeno, il coefficiente di dilatazione sotto pressione costante, trovato esperimentalmente, è maggiore dell'altro dedotto col calcolo. 3.° Il valore del coefficiente di dilatazione di ogni gas (eccettuato l'idrogeno) aumenta colla pressione, e per una quantità tanto maggiore quanto più il medesimo gas si allontana dalla legge di Mariotte (170). 4.° Pertanto, le differenze tra i coefficienti di dilatazione dei diversi gas, sono tanto più piccole quanto meno forti sono le pressioni esercitate sugli stessi gas. Quindi la legge di Gay-Lussac (che tutti i gas hanno eguale coefficiente di dilatazione) può essere accettata come una legge a limite, che vieppiù s'avvicina all'esattezza, quanto meno i gas sono compressi, e per conseguenza quanto più sono lontani dal loro punto di liquefazione. Pei gas perfetti, sotto la pressione atmosferica, quella legge è esatta; ma per gli altri non è che approssimativa.

577. **Applicazioni della dilatabilità dell'aria**. La proprietà dell'aria di dilatarsi uniformemente suggerì l'invenzione

di un termometro ad aria, il quale essenzialmente consiste in un serbatojo sferico, in tutto simile a quello adoperato da Gay-Lussac (fig. 530) nelle esperienze poc'anzi descritte, munito allo stesso modo di un tubo capillare, pieno d'aria disseccata, e chiuso da una goccia di mercurio, che scorre lungo il tubo, e allontanandosi più o meno dal serbatojo segna gli aumenti e le diminuzioni di temperatura. Volendo avere un termometro ad aria, nel quale il tubo sia disposto verticalmente, conviene ripiegare il tubo stesso verso il mezzo, e soffiarvi una piccola bolla (fig. 533), sicchè il liquido non abbia mai da arrivare fino al bulbo inferiore, qualunque sia la contrazione dell'aria interna. Al termometro ad aria si dà anche la seguente disposizione. Si immerge l'estremità aperta del tubo capillare, unito al serbatojo, in un vaso che contenga un liquido colorato; poscia riscaldando il serbatojo, si fa escire una parte dell'aria che vi è contenuta, in modo che il liquido salga nel tubo, quando l'apparato si raffredda. È evidente che le variazioni del livello indicheranno i cangiamenti di temperatura.

Fig. 533.

I termometri ad aria così costrutti sono di buonissimo effetto, allorchè si tratta di conoscere i rapidi cangiamenti di temperatura, ma le loro indicazioni sono dipendenti dalla pressione atmosferica, sicchè variano col mutar di questa. Leslie imaginò un termometro ad aria, sul quale le pressioni esteriori non hanno influenza alcuna. Tale strumento è formato da un tubo orizzontale di vetro (fig. 534), munito alle sue estremità di due tubi verticali che finiscono in due palloncini di vetro, egualmente grandi. Una quantità determinata di acido solforico colorato riempie il tubo orizzontale, e si eleva ad un terzo dell'altezza in ciascuno dei bracci verticali. Nelle due parti dello strumento, separate dal liquido, havvi prossimamente la stessa quantità di aria, ed i due tubi verticali sono diligentemente graduati.

Con questo strumento, si possono conoscere le differenze di temperatura dei luoghi occupati dalle due bolle; ed è per questo che l'inventore lo disse *termometro differenziale*. Ma può servire a sapere la temperatura assoluta di un luogo, quando si abbia cura di mantenere a 0° l'una delle due bolle, inviluppandola di ghiaccio deliquescente.

Fig. 534.

Rumfort fabbricò un altro termometro ad aria, che disse *ter-*

moscopio (fig. 535), il quale differisce da quello di Leslie, già descritto, e per le maggiori dimensioni delle due bocce e del braccio orizzontale, ed in questo che l'indice liquido I non ha che due centimetri circa di lunghezza, e lo zero è segnato a ciascuna estremità, quando, essendo le due bocce alla stessa temperatura, l'indice occupa il mezzo del tubo orizzontale.

Fig. 535.

Regnault ha fatto un lavoro molto pregevole circa il confronto dei termometri ad aria con quelli a mercurio; e nella tavola seguente vi offriamo una buona parte delle conseguenze ch'egli dedusse dalle sue osservazioni.

Temperature del termometro ad aria	Temperature del termometro a mercurio di **Choisy-le-Roi**	
	in cristallo	in vetro ordinario
100°	100,00	100,00
110°	110,05	109,98
140°	140,29	139,85
160°	160,52	159,74
180°	180,80	179,63
200°	201,25	199,70
220°	221,82	219,80
240°	242,55	239,90
260°	263,44	260,20
280°	284,48	280,52
300°	305,72	301,08
320°	327,25	321,80
340°	349,30	343,00
350°	360,50	354,00

L'influenza della natura del vetro è manifesta; ed appare che il vetro ordinario è preferibile al cristallo nella costruzione del termometro a mercurio. Da qui si ha una conferma di quanto abbiam già detto più sopra, che due termometri a mercurio sono comparabili appena quando siano fabbricati con vetri della stessa qualità. Invece, secondo lo stesso Regnault, due termometri ad aria

sono sempre comparabili, qualunque sia la natura del vetro, che li compone, perchè qui la dilatazione del recipiente è così piccola in confronto a quella dell'aria, che non ha alcuna influenza sensibile sul moto del corpo termometrico: la dilatazione dell'aria, ed in generale degli aeriformi, è più di 160 volte quella del vetro, mentre il mercurio non si dilata che 7 volte di più del vetro.

Non illudetevi però circa il valore delle indicazioni di un termometro ad aria. Avanti che si scoprissero le vere leggi della dilatazione degli aeriformi, alcuni pensarono che, riportando i fenomeni alle indicazioni di un termometro ad aria, si potesse sperare di avere le loro leggi espresse nella forma più semplice possibile; giacchè sembrava a loro probabile che le dilatazioni dell'aria fossero proporzionali alle quantità assolute del calorico. Ma ora, conoscendosi che i gas non hanno tutti il medesimo coefficiente di dilatazione, e sopra tutto che questa dilatazione non è nemmeno costante per lo stesso gas sotto diverse pressioni, è evidente che ai termometri ad aria non si possono attribuire qualità speciali, ed in ordine agli altri termometri non hanno altro vantaggio che di essere istrumenti comparabili fra loro e molto sensibili.

578. **Densità o pesi specifici dei gas.** Ora siamo in grado di esporre quanto abbiamo promesso (150) sul modo di trovare le densità e quindi le gravità specifiche degli aeriformi. A tale intento, si prende un pallone di vetro della capacità di sei o sette litri; innanzi tutto lo si pesa, dopo avervi praticato il vuoto; poscia lo si pesa riempiuto d'aria secca, e per ultimo pieno del gas di cui si cerca la densità. Se fosse possibile praticare nel pallone il vuoto perfetto, ed avere esattamente la medesima temperatura e la stessa pressione in tutte e tre le menzionate operazioni, sarebbe facile cosa conoscere la densità del gas in confronto a quella dell'aria; perchè basterebbe dividere il peso del gas contenuto nel pallone pel peso del volume eguale d'aria. Ma l'esperienza non può mai essere così semplice, sia perchè è impossibile di fare esattamente il vuoto nel pallone, sia perchè quasi mai l'operazione si compie senza che avvenga qualche cangiamento nella pressione o nella temperatura. Bisogna adunque tener conto anche di queste circostanze; ed ecco come si opera ordinariamente. Si fa il vuoto nel pallone A (fig. 536), avvitato al piatto

Fig. 536.

della macchina pneumatica; indi vi si lascia rientrare aria dal rubinetto laterale B, ma dopo d'aver applicato al rubinetto stesso un tubo rettilineo (fig. 537), pieno di grossi frammenti di cloruro di calcio, ovvero una serie di tubi ad U (fig. 538) riempiti di pietra pomice, divisa a minute particelle, ed imbevuta d'acido solforico. Si ripete più volte questa operazione in modo da disseccare bene il pallone; e poscia si fa il vuoto per un'ultima volta, avendo cura d'osservare l'altezza del mercurio nel provino della macchina pneumatica. Allora si chiude il rubinetto del pallone, lo si leva dalla macchina e lo si pesa. In appresso si ripone il pallone sulla macchina pneumatica, lo si riempie d'aria disseccata, sotto la pressione atmosferica, e se ne cerca il peso.

Fig. 537.

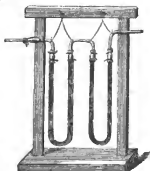



Fig. 538.

Ora dalle esperienze passiamo al calcolo. Supponiamo che nella prima operazione, ossia nella pesata del recipiente vuoto, t sia la temperatura dell'aria ambiente e del pallone, h l'altezza del barometro, d il peso dell'aria spostata, h' la pressione dell'aria, che rimane nel pallone, c' il peso dell'aria stessa, e p' il peso apparente del pallone. Parimenti nella pesata del recipiente ripieno d'aria secca, imaginiamo d'ottenere t per temperatura dell'aria ambiente e del pallone, h per altezza del barometro, d per peso dell'aria spostata, h per pressione dell'aria nel pallone, eguale alla pressione atmosferica, c per peso dell'aria che riempie il pallone, e p per peso apparente del pallone riempito d'aria secca. Si ammette che la temperatura dell'aria ambiente e del pallone, l'altezza del barometro, ed il peso dell'aria spostata dal pallone siano identiche nelle due operazioni, perchè si suppone che l'una succeda immediatamente all'altra, e perciò si compiano entrambe sotto le medesime condizioni di pressione, di temperatura e di stato igrometrico.

Dopo ciò, per ottenere il peso assoluto del pallone, mentre converrà togliere al numero, che si ottenne pesandolo vuoto, il peso dell'aria che rimane nel pallone, pel noto principio d'Archimede (134) sarà anche necessario aggiungervi il peso dell'aria spostata dal pallone stesso; quindi chiamando con P questo peso assoluto

avremo $P = p' + d - c'$. Ma lo stesso peso assoluto P del pallone, in ordine alla seconda esperienza, può essere espresso da $p + d - c$; quindi sarà $P = p + d - c$. Da ciò abbiamo $p' + d - c' = p + d - c$, ossia $p' - c' = p - c$; se non che le nozioni contenute nel n. 171 ci fanno comprendere che c' è $= \frac{c \times h'}{h}$. Epperò sostituendo questo valore di c' nell'equazione precedente, avremo: $p' - \frac{c \times h'}{h} = p - c$, ossia $c - \frac{ch'}{h} = p - p'$, cioè $\frac{ch - ch'}{h} = p - p'$; da cui si ottiene $c\,(h - h') = h\,(p - p')$; e per conseguenza $c = \frac{h\,(p - p')}{h - h'}$.

Sia ora x il peso di un centimetro cubico d'aria a 0^o, sotto la pressione di 76 centimetri, ed n il numero dei centimetri cubici, che esprime la capacità del pallone alla stessa temperatura; nx sarà il peso dell'aria contenuta nel pallone a questa temperatura e sotto la medesima pressione. È facile dedurre da ciò il peso dell'aria contenuta nel pallone nelle condizioni dell'esperienza precedente, cioè alla temperatura t e sotto la pressione h. Invero, passando dalla pressione 0,76 alla pressione h, il peso x di un centimetro cubico diventa $\frac{x \times h}{76}$, e passando da 0^o alla temperatura t, diventa $\frac{x \times h}{76} \times \frac{1}{1 + at}$, essendo a il coefficiente di dilatazione dell'aria.

Ma a questa temperatura il pallone non contiene più i soli n centimetri cubici, per effetto della dilatazione del vetro, il cui coefficiente chiameremo k, egli ne contiene $n\,(1 + kt)$; moltiplicando questo volume per il peso di ciascun centimetro cubico, si ha finalmente $n\,(1 + kt) \times x \times \frac{h}{76} \times \frac{1}{1 + at}$: formola che rappresenta il peso totale dell'aria contenuta nel pallone alla temperatura t e sotto la pressione h. Questo peso è quello che noi abbiamo rappresentato con c, e che abbiamo trovato eguale a $\frac{h\,(p - p')}{h - h'}$; quindi avremo: $nx\,(1 + kt)\,\frac{h}{76} \times \frac{1}{1 + at} = \frac{h\,(p - p')}{h - h'}$; da cui avremo $nx = \frac{h\,(p - p') \times 76 \times (1 + at)}{(h - h')\,h \times (1 + kt)}$, e togliendo le quantità comuni ai due termini della frazione, si avrà; $nx = 76\,\frac{(p - p')}{(h - h')} \times \frac{(1 + at)}{(1 + kt)}$.

In seguito a tutto questo, si riempie il pallone A del gas, di cui vuolsi determinare la densità. A questo scopo, si pratica il vuoto nel pallone, e lo si mette in comunicazione col gasometro che contiene lo stesso gas, per mezzo di un tubo riempito di sostanze igrometriche, nel quale lo si dissecca. Si ripetono più volte queste due operazioni in modo da levare dal pallone quel po' d'aria, che vi può rimanere. In fine si fa il vuoto per un'ultima volta nel pallone, osservando l'altezza h''' del mercurio nel provino della macchina pneumatica, si misurano i pesi p''' e p'' del pallone vuoto e poi pieno di gas secco, sotto la pressione atmosferica h''. Da qui in avanti si procede come sopra: supponendo che la temperatura sia t', e che il coefficiente del gas sia eguale a quello dell'aria a, e designando con x' il peso di un centimetro cubico di questo gas a 0°, sotto la pressione di 76 centimetri, si avrà egualmente: $nx' = 76\,\frac{(p'' - p''')}{(h'' - h''')} \times \frac{(1 + at')}{(1 + kt')}$.
Ora si rifletta che la densità di questo gas, relativamente a quella dell'aria, è eguale alla frazione $\frac{x'}{x}$, ossia al peso di un centimetro cubico di questo gas, diviso pel peso di un centimetro cubico d'aria, presi l'uno e l'altro a 0°, e sotto la pressione di 76 centimetri. Avremo perciò definitivamente per rapporto delle due densità: $\frac{x'}{x} = \frac{p'' - p'''}{p - p'} \times \frac{h - h'}{h'' - h'''} \times \frac{1 + at'}{1 + at} \times \frac{1 + kt}{1 + kt'}$; espressione che non contiene se non i dati dell'esperienza.

Questa formola generale però si ottiene supponendo che i pesi x ed x' d'un centimetro cubico di aria e di gas, a 0° e sotto la pressione di 76 centimetri, diventino, alle temperature t e t' e sotto le pressioni h ed h', $x \times \frac{h}{760} \times \frac{1}{1 + at}$, ed $x' \times \frac{h'}{760} \times \frac{1}{1 + at'}$, conformemente alla legge di Mariotte, ed alla costanza del coefficiente di dilatazione. Ma se nell'esperienza si fossero oltrepassati i limiti, nei quali la legge annunciata è rigorosamente vera, anche la formola non sarebbe esatta. Di più, anche fra quei limiti bisognerà tener conto delle variazioni del coefficiente di dilatazione, perchè se questo cambiasse, allora anche il rapporto delle densità, $\frac{x'}{x}$ a 0°, sarebbe $\frac{x'(1 + at)}{x(1 + a't)}$ alla temperatura t^0, rappresentando con a' il coefficiente di dilatazione del gas. Al contrario poi, se l'esperimento non solo fosse fatto nei limiti, fra i quali si verifica la legge di Mariotte e la costanza del coefficiente di dilatazione, ma anche alla stessa temperatura e sotto

la medesima pressione, ed il provino della macchina pneumatica indicasse la stessa pressione dell'aria o del gas che rimane nel pallone, dopo avervi praticato il vuoto, di modo che fosse $t = t'$, $h = h''$, ed $h' = h'''$, la formola della densità del gas sarebbe: $\frac{x'}{x} = \frac{p'' - p'''}{p - p'}$.

Peso specifico dell' aria. Anche a rinvenire la densità dell'aria, in confronto a quella dell'acqua, serve il metodo precedente; solo è necessario procacciarsi una bilancia abbastanza forte da poter pesare il pallone descritto anche quando è ripieno d'acqua distillata. Supponiamo che, mediante esperienze analoghe alle precedenti, siansi determinati più valori di nx, cioè del peso dell'aria che il pallone può contenere alla temperatura 0°, e sotto la pressione di 76 centimetri; e siasi presa la la media di essi, facendola eguale ad r, per cui si abbia $nx = r$.

Ciò fatto, non resta che misurare la capacità del pallone, o per meglio dire, determinare il numero n dei centimetri cubici ch'esso contiene a 0°. A questo fine si fanno, come prima, due pesate nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione dell'aria ambiente, prima col pallone pieno d'aria secca, poi col pallone pieno d'acqua distillata. Siano T la temperatura, h la pressione, d il peso dell'aria spostata, m e m' i risultati della prima e della seconda pesata, u il peso dell'aria che riempie il pallone nella prima, ed u' il peso dell'acqua, che lo riempie nella seconda; si avrà: *prima esperienza* $m + d - u$ peso assoluto della materia del pallone; *seconda esperienza* $m' + d - u'$ peso assoluto della materia del pallone; dunque avremo $m + d - u = m' + d - u'$, ossia $u' = m' - m + u + d - d$, cioè $u' = m' - m + u$. Ma, essendo r il peso dell'aria contenuta nel pallone alla temperatura 0°, sotto la pressione di 76 centimetri, è facile l'intendere che alla temperatura T, e sotto la pressione h, il peso u dell'aria che riempie il pallone, sarà $u = r \times \frac{h}{760} \times \frac{1 + kT}{1 + aT}$ (essendo k il coefficiente di dilatazione del vetro, ed a il coefficiente di dilatazione dell'aria).

Ora sostituendo questo valore ad u nell'equazione precedente, si avrà il volume di u'. Del resto al massimo di densità un grammo d'acqua occupa un centimetro cubico, ed alla temperatura di T avrà un volume $(1 + d')$, essendo d' dato dalle tavole delle dilatazioni dell'acqua; così il peso u' dell'acqua corrisponde ad un numero di centimetri cubici eguale ad $u'(1 + d')$. Tale è dunque la capacità del pallone alla temperatura T. Dall'altra parte, questa capacità è eguale ad $n(1 + kT)$; perciò

avremo $n\ (1 + kT) = u'\ (1 + d')$, da cui si ottiene $n = \frac{u'\ (1 + d')}{1 + kT}$. Sostituendo questo valore di n nell'equazione primitiva $nx = r$, si ottiene $x = \frac{r}{u'} \times \frac{1 + kT}{1 + d}$: formola che rappresenta il peso di un centimetro cubico d'aria secca a 0° di temperatura, ed a 76 centimetri di pressione.

Arago e Biot hanno trovato, nel 1805, per peso specifico dell'aria, rapporto all'acqua il numero 0,00129954; per cui un litro d'aria a 0°, e sotto la pressione di 76 centimetri è circa 13 diecimillesimi del peso d'un litro d'acqua a 4°, cioè pesa 1gr.,29954. Questo numero subisce una leggera modificazione, se si prendono per le dilatazioni dell'acqua e dell'aria i valori trovati ultimamente. E diffatti dalle esperienze dirette, ripetute, non è molto, da Regnault con tutte le più minute precauzioni; risulta che un litro d'aria, alla temperatura di 0° e sotto la pressione di 76 centimetri, pesa 1gr.,293187. Da tutto questo si conchiude che il rapporto fra i pesi di volumi eguali di mercurio e d'aria è 10513,5, essendo 13,596 il peso specifico del mercurio.

Dumas, Boussignault e Regnault, per determinare i pesi specifici degli aeriformi, adottarono metodi poco dissimili da quello che vi ho descritto: sono però di esso molto più esatti, e non lasciano più dubbio alcuno circa la verità dei risultati; ma la descrizione di tali processi ci trascinerebbe fuori dal campo ove ci aggiriamo.

Densità dei gas a 100°. Regnault accrebbe lo splendore delle sue esperienze col confronto delle densità di parecchi gas a 100°, ed ha constatato che i gas che si dilatano più dell'aria, hanno, per rapporto all'aria stessa, una densità minore a 100° che a 0°; così la densità dell'acido carbonico a 100° è espressa dal numero 1,52418, ed a 0° da 1,52910.

Densità dei gas composti. In tutte le composizioni binarie havvi una relazione costante tra le densità dei componenti e quella del composto. Rappresentiamo con d e d' le densità, per rispetto all'aria, di due gas che si combinano fra loro, e con n ed n' il numero dei volumi del primo e del secondo che entrano nella combinazione. Sia V il volume del composto, e D la sua densità per rapporto all'aria. Prendendo per unità il peso dell'unità di volume dell'aria, il peso del composto è evidentemente $nd + n'd'$, ed essendo V il suo volume, sarà $D = \frac{nd + n'd'}{V}$. Lo stesso vale pei composti ternarj e pei sovracomposti.

ARTICOLO QUARTO

FUSIONE E SOLIDIFICAZIONE.

379. **Classificazione dei corpi in ordine alla loro fusibilità**. Lo stato di solidità, o liquidità dei corpi, ben lungi di essere essenziale a ciascuna sostanza in particolare, è anzi affatto accidentale e dipendente unicamente dalla temperatura, a cui è sommessa ogni sostanza al momento nel quale vien presa in considerazione. Se cambiasse, a cagion d'esempio, la distanza che corre fra il sole e la terra, questa prenderebbe un'altra consistenza ed un altro aspetto; se dessa si avvicinasse al sole, i metalli sarebbero per la maggior parte liquidi, ed i mari invece d'acqua potrebbero contenere sostanze metalliche liquefatte; al contrario se la terra si dilungasse dal sole, i mari si trasformerebbero in una massa solida, non si avrebbero più acque correnti. Ciò nondimeno i corpi non passano tutti con eguale facilità da uno stato all'altro. Alcuni di essi, quando sono esposti a temperature ben poco elevate, tosto si liquefanno, e perciò furono detti *molto-fusibili:* tali sono, per esempio, il ghiaccio, il fosforo, lo solfo, la cera, i corpi grassi, le resine, ecc. Altri invece esigono per fondersi temperature alquanto più elevate, come lo stagno, il piombo e diverse leghe, e questi si dicono *fusibili.* Infine ve ne sono molti che non si fondono se non sotto l'azione, continuata per tempo notevole del calore il più grande che possiamo produrre coll'arte; così avviene dell'oro, dell'acciajo, del ferro, ecc., e questi si chiamano *poco-fusibili.* Si dicono poi *infusibili,* o meglio *fisse, refrattarie,* quelle poche sostanze che anche a questi calori intensissimi rimangono solide, ovvero che si fondono solamente a temperature straordinarie. Il motivo di queste ultime parole è evidente. Ora l'esperienza conferma ciò che i fisici hanno previsto già da qualche tempo — non esservi sostanza propriamente infusibile. Colla pila o colla lampada ad idrogeno ed ossigeno, si pervenne a fondere molte sostanze, stimate infusibili pel lungo tempo. Nel numero di queste sono la barite, la calce, la magnesia, il quarzo e l'allumina. Despretz giunse a fondere il boro ed il silicio con una pila di 600 coppie; lo stesso carbone ha rammollito fra le mani di questo fisico, e diede indizj non dubbi di fusione.

Sostanze organiche. Con tutto ciò, vi sono certi corpi, specialmente fra gli organici, rispetto ai quali sembra assolutamente

che l'idea esposta non regga. Ma dobbiamo avvertire che tutte queste sostanze sono generalmente composte di carbonio e di altri corpi, più o meno volatili; epperò sotto l'azione del fuoco si decompogono prima di liquefarsi. I legni, i frutti, i fiori, le parti di un animale, ecc., fortemente scaldati si risolvono nei loro elementi: i corpi volatili passano allo stato aeriforme, e non rimangono in fin dei conti che il carbone e gli altri elementi fissi. Non pochi corpi inorganici offrono un fenomeno somigliantissimo. Hall però, riscaldando questi corpi in tubi di porcellana o di ferro, ermeticamente chiusi, in modo che i gas, provenienti dalla decomposizione di una piccola loro parte, esercitassero un enorme pressione sul resto, sufficiente ad impedirne la decomposizione, è giunto ad averli allo stato liquido. Così egli ha fuso il carbon fossile; trasformò la segatura di legno in un carbone bituminoso simile al carbon fossile, ed abbruciante con vivissima fiamma; ottenne il marmo allo stato liquido; e dimostrò la fusibilità di molte sostanze vulcaniche.

580. **Leggi della fusione.** Quando i corpi passano dallo stato solido allo stato liquido, presentano tre fenomeni conosciuti nella scienza sotto il nome di *leggi della fusione*, di una importanza grandissima. 1.º Essi rimangono solidi finchè non siano giunti ad una determinata temperatura che, nelle medesime circostanze, è sempre la stessa per ciascuna sostanza; ed allora solo può incominciare la fusione. Questa determinata temperatura, invariabile per ogni corpo (e generalmente diversa da un corpo ad un altro), si chiama *punto di fusione* del corpo. 2.º I corpi rimangono sempre alla medesima temperatura, dal primo momento che cominciano a fondersi fino a che non si sono fusi totalmente, qualunque sia la quantità di calorico che li investe. Siam così costretti ad ammettere che i corpi passando allo stato liquido assorbono, o come dicono, con una parola che esprime bene la cosa, rendono *latente* una certa quantità di calorico. 3.º Per la maggior parte delle sostanze havvi un rapido cangiamento di volume al momento del loro passaggio allo stato liquido. Il fosforo si dilata uniformemente da 0° a 44°: allora fondesi, e si dilata quasi istantaneamente nel rapporto di 1 a 1,0343; in seguito acquista di volume in modo regolare, sicchè i suoi coefficienti sono 0,000383 allo stato solido e 0,000506 allo stato liquido. Lo solfo si dilata irregolarmente allo stato solido, e fondendosi, il volume di esso aumenta rapidamente nel rapporto di 1 a 1,005. L'acido stearico fondesi a 70°, aumentando di volume nel rapporto di 1 a 1,11. La stearina si dilata fino a 50°: a

questo punto cangia di stato fisico, ed il volume di essa diminuisce rapidamente nel rapporto di 1 a 0,977; dipoi si dilata fino al suo punto di fusione, cioè fino a 60°, alla quale temperatura accresce di volume nel rapporto di 1 a 1,0496.

Fusione vitrea. Vi sono però alcune sostanze inorganiche, come il vetro, l'acido fosforico, la silice, e molte fra le organiche, come la cera, il sego, le resine, che esposte all'azione del calorico si rammolliscono e passano per diversi gradi di semifluidità, prima di fondersi. Ma anche per queste sostanze la fusione completa comincia sempre alla stessa temperatura; e ad ogni grado di semifluidità corrisponde una particolare e fissa temperatura, che però non può essere determinata con precisione, essendo cosa difficile ed incerta l'apprezzare il grado di consistenza del corpo. Questo modo speciale di fusione si chiama *fusione vitrea,* perchè nel vetro avviene nella maniera la meglio pronunciata.

Calorie di fusibilità e di fusione. Le quantità di calorico, o le calorie necessarie per riscaldare l'unità di volume d'ogni sostanza dallo zero assoluto insino alla rispettiva temperatura di fusione, si chiamano dal Cantoni *calorie di fusibilità;* ed invece le calorie che conviene comunicare all'unità di volume del solido, già scaldato sino al punto di fusione, perchè si compia in esso la mutazione dello stato fisico, si dicono *calorie di fusione a volume od a peso.* Lo stesso dotto denomina *calorie totali di liquidità* la somma delle calorie di fusibilità con quelle di fusione. Lo zero assoluto si suppone a — 270° circa: più innanzi vedremo come lo si determina, e di quale probabilità gode questo risultato. È chiaro che queste calorie di fusibilità debbono essere proporzionali alle masse che si fondono; ma non bisogna dimenticare che, a masse eguali, due corpi di diversa natura, come si fondono a temperature diverse, esigono anche quantità di calorico molto differenti per passare allo stato liquido. Le calorie di fusibilità, in generale, sono assai meglio proporzionali alla coerenza relativa delle varie sostanze, che nol siano le semplici loro temperature di fusione. Per tutti i solidi poi le calorie di fusione sono proporzionali alla somma delle resistenze opposte dalle loro forze molecolari all'assumere la forma liquida. È naturale che, perchè un solido passi allo stato liquido, conviene superare la coerenza relativa delle molecole, distruggere la loro disposizione particolare che possono avere, come nei cristalli, e qualche volta produrre anche una variazione molto notevole nelle loro distanze. Per conseguenza le calorie di fusione

saranno maggiori pei corpi nei quali le resistenze stesse sono più grandi. La teoria dinamica del calorico pertanto, mentre rende buon conto della costanza del punto di fusione per ogni corpo, e del calorico che scompare nella fusione stessa, indica anche la causa del non essere le calorie di fusione rigorosamente proporzionali alla coerenza relativa dei solidi.

Spiegazione d'alcuni fenomeni. L'assorbimento di calorico che accompagna la fusione del ghiaccio spiega l'aumentare del freddo dopo una gelata, e l'incrudirsi dell'aria dopo la caduta della gragnola. Quando disgelano le acque di un lago, od i ghiacci e le nevi dei monti, la temperatura dell'aria ad una certa altezza può essere al dissopra di 10° circa di quella dell'aria inferiore, che essendo a contatto col ghiaccio deliquescente rimane a 0°, finchè la fusione di esso è compita. La grande quantità di calorico che viene assorbita nella fusione del ghiaccio spiega parimenti perchè esso si converta in acqua così lentamente. È notabile che fra le sostanze esperimentate finora il ghiaccio supera di gran lunga tutte le altre, in ordine alla quantità di calorico necessaria per fonderlo; ed anche questa singolarità ha una somma importanza in natura, giacchè in caso diverso le nevi ed i ghiacci dei monti si fonderebbero in brevissimo tempo, e la maggior parte del continente sarebbe ogni anno esposta a spaventose devastazioni. Lo stesso principio ci dà la ragione di una cosa che, quando la si ode per la prima volta, riesce così stravagante da sembrare impossibile. Nell'inverno del 1740, che fu molto rigido, a Pietroburgo, coi pezzi di ghiaccio della Newa, si costrusse un palazzo d'architettura elegante, della lunghezza di 56 piedi, e servì per qualche tempo, senza che il calore, sviluppato internamente, potesse fondere i muri. Furono anche fabbricati sei cannoni di ghiaccio, coi loro carri, della capacità di tre libbra di polvere, e con essi si lanciarono delle palle di ferro a notevole distanza, senza che il cannone avesse da scoppiare, quantunque lo spessore delle sue pareti non fosse che di due oncie. La spiegazione è facile, quando si rifletta alla tenacità del ghiaccio, alla gran quantità di calorico necessario per fonderlo, ed alla istantaneità del fenomeno. In Siberia si preparano delle lastre di ghiaccio per le finestre delle case: il freddo esteriore compensa il calore interno, che però è tale da elevare la temperatura dell'abitazione ben poco al dissopra dello zero, ed impedisce la fusione delle lastre medesime.

Tavole di fusibilità. Quanto alle temperature di fusione dei corpi semplici veggansi i numeri 301 e 312. Per altri corpi vi offriamo la tavola seguente.

Tavola dei punti di fusione d'alcune sostanze composte.

NOME DELLE SOSTANZE	Temperature di fusione in gradi centigradi
Essenza di trementina	—10°
Ghiaccio	0°
Burro	32°
Sego	33°,33′
Acido acetico	45°
Spermaceti	49°
Stearina	55°
Acido margarico	60°
Cera vergine, o non bianca	61°
Cera bianca	68°
Acido stearico	70°
Neftalina	80°
Lega di bismuto 4, piombo 1, stagno 1	94°
» » 8, » 5, » 3	100°
» » 5, » 2, » 3	100°
» » 5, » 1, » 4	118°,9
» » 1, —— » 1	141°,2
» » 1, —— » 2	167°,7
» » 1, —— » 3	200°
» —— » 3, » 1	289°
» —— » 1, » 1	241°
» —— » 1, » 2	196°
» —— » 1, » 3	186°
» —— » 1, » 4	189°
» —— » 1, » 5	194°
Canfora	175°
Bronzo	900°
Oro al titolo delle monete	1180°
Ghisa bianca molto fusibile	1050°
» poco fusibile	1100°
Ghisa grigia molto fusibile	1100°
» poco fusibile	1200°
Ghisa con manganese	1250°
Acciajo più fusibile	1300°
» meno fusibile	1400°
Ferro dolce	1500°
» incrudito	1600°

Non sarà inopportuno a questa tavola aggiungerne altre due tolte dal libro del signor Cantoni — *Sulle relazioni tra alcune proprietà termiche e fisiche dei corpi.*

Tavola di confronto tra le calorie di fusibilità e quelle di fusione d'alcune sostanze.

NOME DELLE SOSTANZE	Calorie di fusibilità	Calorie di fusione	Calorie totali
Argento	758	208	966
Zinco	458	186	644
Cadmio	288	115	403
Stagno	208	102	310
Bismuto	162	123	285
Piombo	213	60	273
Mercurio	106	41	147
Jodio	101	55	156
Solfo	137	18	155
Bromo	67	52	119
Fosforo	105	9	114

Tavola di confronto tra le calorie di fusione a peso e quelle a volume d'alcune sostanze.

NOME DELLE SOSTANZE		Calorie a peso	Calorie a volume
(Metalli)	Argento	21,1	208,1
»	Zinco	28,1	186,1
»	Bismuto	12,6	123,1
»	Cadmio	13,6	114,7
»	Stagno	14,3	102,3
»	Piombo	5,37	59,8
»	Mercurio	2,84	40,9
(Metalloidi)	Jodio	11,71	55,5
»	Bromo	16,19	51,7
»	Solfo	9,37	18,1
»	Fosforo	5,03	8,8
(Corpi composti)	Nitrato sodico	63,0	138,6
» »	Fosfato sodico	66,8	97,1
» »	Cloruro calcico	40,7	89,0
» »	Nitrato potassico	47,4	81,4
» »	Ghiaccio	79,2	72,7
» »	Neftalina	35,7	37,5
» »	Cera gialla d'api	43,5	36,5

581. **Calorie di soluzione.** Un corpo solido (34) può essere ridotto allo stato liquido eziandio per l'azione d'un solvente. Or bene dovete sapere che anche in questo caso havvi assorbimento di calorico, proporzionale al lavoro resistente che il solido incontra nello sciogliersi. Il dottissimo Cantoni propone di chiamar *calorie di soluzione* le quantità di calorico che scompajono in questo fenomeno. Le calorie di soluzione di un dato solido sono maggiori di quelle di fusione; anzi le prime s'accrescono ancora tanto coll'aumentare la quantità relativa del liquido solvente, quanto col diminuire in questo la temperatura. Per ben intendere questa cosa, si rifletta che per sciogliere un solido conviene comunicargli non solo il calorico che basta a separare le molecole di esso, ma ancora quello che è necessario per trasportarle o diffonderle in tutta la massa del solvente, spostando le molecole di questo, e inframettendovi quelle. Tale lavoro evidentemente riesce maggiore quando si aumenti la massa da muovere, e la quantità del solvente, ossia lo spazio in cui va diffuso il corpo; ed anche nel caso in cui si accresca la resistenza opposta dal liquido alla diffusione stessa, come si fa accrescendone la coesione col diminuirne la temperatura.

Non bisogna però perdere di vista che le variazioni di volume, che d'ordinario accompagnano la soluzione di un solido in un liquido, influiscono sul numero delle calorie di soluzione. Parimenti conviene rammentare che spesse volte la soluzione è accompagnata da una combinazione chimica; ed allora si potrà avere un riscaldamento per risultato finale. Quando lo sviluppo di calorico per l'azione chimica, che accompagna il fenomeno, supera il calorico assorbito nella soluzione del solido, si avrà in fin dei conti un elevamento di temperatura. Esempigrazia, mescolando una parte d'acido solforico concentrato con quattro parti di ghiaccio, la temperatura discende fino a — 20°; perchè il ghiaccio, passando allo stato liquido, assorbe non solo tutto il calorico sviluppato dall'azione chimica, ma ancora una parte del calorico sensibile della mescolanza. Al contrario, mescolando 4 d'acido con 1 di ghiaccio, si ottiene un elevamento di temperatura di 50° a 60°, perchè la piccola porzione di ghiaccio che diventa liquida non assorbe che una parte del calorico sviluppato nella operazione chimica. Potrà sembrare meraviglioso, per non dire contradditorio, che la temperatura della mescolanza di ghiaccio ed acido solforico, nel primo esperimento discenda fino a — 20°, mentre da una parte il ghiaccio si fonde a 0°, e dall'altra la combinazione dell'acqua coll'acido solforico produce uno sviluppo notevole di calorico. Ma badate ad una circostanza,

che forse può esservi sfuggita nell' osservare il fenomeno, cioè alla rapidità colla quale esso si compie. La quantità di calorico necessaria alla fusione del ghiaccio è sempre la stessa; ma, appunto per ciò, il raffreddamento prodotto è proporzionale alla rapidità colla quale si produce l'operazione stessa. L' affinità chimica affretta la fusione del ghiaccio, ma il calorico sviluppato dalla combinazione dell'acido solforico col ghiaccio, che pel primo passa allo stato liquido, è minore di quello necessario a fondere il resto della massa, colla rapidità voluta dall'azione chimica medesima; quindi il ghiaccio che nel fenomeno passa successivamente allo stato liquido, sottrae calorico ed al ghiaccio che rimane tale per un istante ancora, ed al composto previamente formatosi, e a tutti i corpi circostanti: la temperatura di — 20° non è quella del ghiaccio che si fonde, ma bensì della massa che lo circonda: il ghiaccio in fusione è a 0°; ma perchè esso acquisti tale temperatura, conviene che sottragga calorico ai corpi circostanti in proporzione alla sua massa. Che l' addotta spiegazione del fenomeno sia vera, può aversene una conferma sperimentale. In un vasetto pieno d' acqua tiepida mettete un termometro, e poi collocate il vasetto medesimo in mezzo al ghiaccio contenuto in un altro recipiente: potrete osservare che il raffreddamento dell'acqua interna è più rapido quando il ghiaccio vien fuso prestamente, ponendo il vaso esterno entro acqua tiepida, che non avvenga quando il ghiaccio si fonde con lentezza in un ambiente poco superiore allo zero. Il calore esterno, accelerando la fusione del ghiaccio, provoca una sottrazione di calorico da tutte le parti di esso, e quindi anche dall'acqua che sta nel vasetto interno. Veramente a questo modo di spiegare la cosa potrebbe muoversi un' obiezione, che cioè, esponendo ad un fuoco attivissimo un vaso pieno di ghiaccio, la temperatura della massa in fusione non si abbassa, come sembra che dovrebbe avvenire secondo il principio esposto. Ma non è difficile capire che tra l'uno e l'altro fatto havvi una distanza infinita. Una minuta analisi dei fenomeni in questione vi scopre che onde ottenere un raffreddamento conviene che il calorico somministrato alla massa da fondere sia minore di quello necessario per avere la fusione del corpo, colla rapidità determinata dalle circostanze del fenomeno. Ed è per questo motivo che, mescolando 4 parti d'acido solforico con 1 di ghiaccio, la temperatura della mescolanza si eleva, anzichè abbassarsi. Ciò posto, ognuno intende che quando la fusione viene provocata da un agente diverso dal calorico, per esempio, dall'affinità chimica od in genere dall'attrazione molecolare, il raffreddamento potrà essere notevolissimo,

ed aumenterà, accrescendo, in relazione alle altre circostanze, l'energia dell'attrazione stessa; perchè qui il corpo esige calorico per fondersi, e tanto più quanto maggiore è la forza a cui soggiace. Ma se l'azione è provocata dal calorico, ossia se il corpo si fonde perchè riceve calorico, il raffreddamento non può dipendere che da una differenza tra la velocità colla quale il calorico si trasmette al corpo, e quella colla quale il corpo si fonde; e quindi esso è sempre piccolissimo, e diminuisce evidentemente coll'aumentare dell'agente che provoca il fenomeno, ossia del calorico stesso. Per conseguenza l'esperimento, che abbiamo descritto sopra, non riesce, se l'acqua esterna è troppo calda, ossia se la temperatura di essa oltrepassa i 25°.

Diffusione reciproca di due liquidi. Quando si mescolano assieme due liquidi, havvi sempre, generalmente parlando, un cangiamento di temperatura. Favre, nel 1860, pervenne alla conseguenza che nel fenomeno menzionato concorrono due azioni: l'attrazione reciproca delle molecole eterogenee messe a contatto, la quale è causa di uno sviluppo di calorico; e la diffusione, che produce un abbassamento di temperatura; sicchè il risultato finale è di calore o di freddo, a seconda che prevale l'una o l'altra delle due azioni. Bussy e Buignet, fecero, non è molto, le più delicate esperienze su 9 mescolanze: 3 produssero calorico con notevole aumento di capacità e contrazione di volume; invece 6 mostrarono abbassamento di temperatura, 3 delle quali aumentarono di capacità e di volume, e 2 accrebbero di capacità e diminuirono notevolmente di volume. Da ciò i due dotti dedussero la conseguenza che, oltre alla perdita di calorico dovuta ai cangiamenti di volume ed all'azione simultanea delle cause, ancora incognite, che fanno variare la capacità della mescolanza, havvi un'altra azione che produce per sè stessa un assorbimento di calorico, il quale può essere qualchevolta eguale od anche maggiore di quello sviluppato dalla combinazione di due liquidi.

Mescolanze frigorifere. Ci siamo intrattenuti a lungo del raffreddamento prodotto nella fusione o nella soluzione di un corpo, accompagnata da un'azione chimica o da un'azione molecolare qualunque, perchè è questo un principio che ha ricevuto una bella applicazione nelle *mescolanze refrigeranti* o *frigorifere*, adoperate a produrre artificialmente un notevole abbassamento di temperatura. Per averle, si mischiano, in proporzioni determinate, assieme diversi corpi (fra i quali uno almeno sia solido) capaci di combinarsi fra loro, o se non altro di esercitare un'azione molecolare che produca la fusione o la soluzione di uno o più dei solidi, che vi si trovano mescolati. Ve ne indico alcune nella tavola seguente.

NOME DELLE SOSTANZE	Proporzioni	Temperatura a cui si arriva	Freddo prodotto a partir da 10°
Mescolanza d'acqua e di sali.			
Acqua Azotato d'ammoniaca	1 1	—10°	26°
Acqua Azotato d'ammoniaca Sottocarbonato di soda	1 1 1	—19°	29°
Acqua Azotato di potassa Cloridrato d'ammoniaca	16 5 5	—12°	22°
Acqua Cloridrato d'ammoniaca Azotato di potassa Solfato di soda	16 5 5 8	—16°	26°
Acqua Cloridrato di potassa Cloridrato d'ammoniaca Azotato di potassa	4 57 32 10	—16°	26°
Mescolanze di sali e d'acidi diluiti d'acqua.			
Solfato di soda Acido azotico	3 2	—19°	29°
Solfato di soda Cloridrato d'ammoniaca Azotato di potassa Acido azotico	6 4 2 4	—25°	35°
Solfato di soda Azotato d'ammoniaca Acido azotico	6 5 4	—26°	36°
Solfato di soda Acido solforico a 36°	20 16	— 8°,15	18°,15
Solfato di soda Acido cloridrico	8 5	—17°	27°
Fosfato di soda Acido azotico	9 4	—29°	39°

NOME DELLE SOSTANZE	Proporzioni	Temperatura a cui si arriva	Freddo prodotto a partir da 10°
Mescolanze di ghiaccio e di sali.			
Neve o ghiaccio pesto Sal marino	2 1	—	20°
Neve o ghiaccio pesto Sal marino Cloridrato d'ammoniaca Azotato di potassa	24 10 5 5	—	28°
Neve o ghiaccio pesto Cloruro di calcio	2 3	—	18°
Neve o ghiaccio pesto Sal marino Cloridrato d'ammoniaca	5 2 1	—	24°
Neve o ghiaccio pesto Sal marino Azotato d'ammoniaca	12 5 5	—	31°
Neve o ghiaccio pesto Potassa	3 4	—	18°

Il freddo prodotto dalle mescolanze frigorifere ha necessariamente un limite, perchè l'azione chimica, che determina la soluzione del sale, diminuisce successivamente coll'abbassarsi della temperatura, ed anche perchè a troppo bassa temperatura il sale si separa dalla dissoluzione fatta precedentemente.

Per ottenere il massimo effetto è necessario eziandio che i sali sieno polverizzati e ben disseccati; ma debbono contenere tuttavia la loro acqua di cristallizzazione. Al medesimo intento conviene che la mescolanza sia fatta a poco a poco, ed agitandola continuamente, e che il recipiente, come pure le sostanze mescolate, sieno state prima ad una bassa temperatura. Infine si debbono avere tutte le cautele per evitare che la mescolanza riceva calorico dall'esterno; e perciò, il più delle volte si circonda il vaso, nel quale si fa la mescolanza, con parecchi inviluppi concentrici, riempiti di corpi che intercettano il calorico, od anche di altre sostanze refrigeranti.

Tutto ciò suggerì l'invenzione dei *ghiacciai di famiglia*. Il più

semplice di questi apparecchi si compone d'un vaso di latta A (fig. 539), destinato a ricevere la mescolanza frigorifera, e d'un vaso B, parimenti di latta, nel quale si versa l'acqua da congelare. Quest'ultimo è formato da uno spazio annulare, ed il cono interno comunica colla capacità del vaso A. Per questa disposizione, l'acqua del vaso B viene raffreddata da due parti, ed alla fine dell'operazione si ottiene un tronco di cono cavo di ghiaccio, che si può levare facilmente dall'inviluppo, capovolgendo il vaso B. Allorchè questo apparecchio è adoperato a fare sorbetti, si sostituisce al vaso B un *mastelletto*. In questo caso bisogna rinnovare la mescolanza frigorifera, ed anche mescolare spesso il liquido interno, ovvero costrurre l'apparato in modo che possa ricevere un rapido movimento rotatorio, com'è, per esempio, il congelatore di Villeneuve.

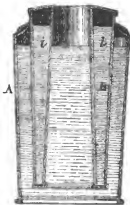



Fig. 539.

582. **Solidificazione — sue leggi**. Il passaggio dei liquidi allo stato solido è generalmente accompagnato da tre circostanze, che corrispondono a quelle della fusione. Primieramente, la solidificazione avviene ad una temperatura costante per ciascuna sostanza, che in generale è quella della fusione. Come un solido, arrivato ad una temperatura determinata, si fonde, così il liquido che ne è nato, si consolida poscia a quella medesima temperatura. Il divario dei due fenomeni consiste unicamente in ciò che nel primo si dà, e nel secondo si leva calorico al corpo. I corpi che manifestano la fusione vitrea, passano, come è naturale, anche dallo stato liquido allo stato solido per gradazioni, ossia perdendo successivamente di fluidità.

In secondo luogo, tutto il calorico assorbito nella fusione, torna a manifestarsi nella solidificazione, sicchè durante questo fenomeno la temperatura del corpo che passa allo stato solido, rimane sempre costante, qualunque sia la quantità di calorico sottrattagli. Di questo possiamo averne una prova, collocando un termometro in un vaso d'acqua, esposto ad una temperatura assai bassa: il livello mercuriale si mantiene allo zero per tutto il tempo della congelazione. La quantità del calorico, che in ogni momento si sottrae alla massa solidificantesi, non influisce che nella rapidità del fenomeno. Vi è una curiosa esperienza che mostra assai chiaro come i liquidi durante la solidificazione non cessino di

emettere calorico. Si versa in un vaso un po' d'acqua, e sull'acqua uno strato d'olio d'uliva: poi si espone il vaso al freddo. Prima gela l'olio, perchè è dissopra, e quindi più esposto a raffreddarsi; poi, seguitando il freddo, gela anche l'acqua; ma allora torna liquido l'olio, perchè ha ricevuto il calorico emesso dall'acqua nell'atto della sua solidificazione. Il principio esposto dà la spiegazione del mitigarsi del freddo al momento in cui la neve si squaglia, e dell'essere il clima meno rigido in vicinanza delle grandi masse d'acqua.

Havvi qualche liquido che si mantiene tale anche alle temperature le più basse, come il solfuro di carbonio, l'alcool e parecchi altri di origine organica. Tuttavia, l'alcool può essere ridotto ad uno stato di consistenza particolare; ed il divario notevolissimo fra i punti di solidificazione dei liquidi ci mette in grado di supporre che tutti i liquidi si congelerebbero, se si potesse raffreddarli sufficientemente.

In terzo luogo, al momento della solidificazione, havvi generalmente un notevole cangiamento di volume. Questo cangiamento d'ordinario consiste in una contrazione; ma alcune sostanze, solidificando, si dilatano. L'acqua è una di esse. Reaumur ha scoperta la medesima particolarità nella ghisa, nel bismuto e nell'antimonio. A questi corpi vanno aggiunti l'acido solforico combinato con 3 atomi d'acqua, che gela a 6° circa, e la lega di una parte di piombo, una di stagno e quattro di bismuto.

585. **Circostanze particolari che accompagnano la solidificazione dell'acqua**. L'acqua al momento della congelazione si dilata di $^1/_{11}$ del suo volume a 0°. Immensa è la forza esercitata dall'acqua che solidificando aumenta di volume. La grandiosità degli effetti di questa, come di tutte le altre forze molecolari, basta a persuaderci che tali *minimi* hanno una forza prodigiosa, e le più enormi resistenze sono incapaci di lottare contro questi giganti trasvestiti, come li chiama il Tyndall nel *Mondes*. Gli accademici di Firenze, avendo fatta gelare l'acqua in una sfera cava di rame, osservarono che in una prima esperienza la sfera si estese al punto di non poter più passare per un anello, dal quale passava facilmente prima della congelazione dell'acqua stessa, ed in una seconda esperienza la sfera si spezzò, quantunque il suo spessore fosse notevole. Musschenbroeck pensa che lo sforzo esercitato dall'acqua nell'aumentare di volume, al momento della sua solidificazione, nelle accennate esperienze sia stato maggiore di 1200 chilogrammi. Huyghens ripetè l'esperienza degli accademici di Firenze, adoperando un tubo di ferro. Egli lo riempì d'acqua, e dopo d'averne chiusa la bocca con un turacciolo metallico a

vite, lo mise in una mescolanza frigorifera. Alla fine di qualche tempo, il tubo venne spaccato. William-Eward riempiva d'acqua una bomba di 13 pollici di diametro, ne chiudeva l'apertura con un turacciolo di ferro, e poscia la esponeva ad un notevole raffreddamento. In alcune esperienze il turacciolo venne lanciato ad una distanza maggiore di 400 piedi, e nell'atto stesso un cilindro di ghiaccio, lungo 8 pollici, uscì fuori dall'apertura; ed in altre esperienze, avendo resistito il turacciolo, la bomba venne spaccata, e intorno alla fessura vide formata una lamina di ghiaccio. Per la stessa cagione, nei vasi non riempiti d'acqua, all'atto in cui questa si consolida, formansi molte prominenze alla superficie. Nei paesi freddi, quando la terra è molto umida, il suolo, al gelar dell'acqua contenutavi, si gonfia al punto di sollevare le case. Allo stesso modo, le pietre porose, esposte ai freddi invernali, si dividono in minuta polvere, gli alberi si spaccano con detuonazioni simili a quelle delle armi da fuoco, e spesse volte periscono per una disorganizzazione così prodotta nei loro tessuti. Tuttavia Dunnal osservò che alcune piante acquatiche possono gelare e disgelare senza perire. Sembra che il Creatore, nella sua ammirabile sapienza, mentre ha destinate queste piante a nascere e crescere in mezzo alle acque, abbia anche dato loro una organizzazione tale da adattarsi, senza patire danno alcuno, agli aumenti di volume dei succhi di cui sono imbevute.

Un'altra curiosa particolarità dell'acqua che si consolida è la diversa struttura che assume. La neve è pur acqua solidificata, ma ha un aspetto ben diverso del ghiaccio, e mostra diverse forme, che più innanzi studieremo. Lo stesso ghiaccio presenta varietà notevolissime. Il ghiaccio glaciale, o dei ghiacciai, differisce dal ghiaccio ordinario, per essere formato da grani o cristalli, variabili di grossezza, aderenti, ma indipendenti gli uni dagli altri, e separati da mille fessure capillari; sicchè questo ghiaccio può essere attraversato dai liquidi. Anzi in un ghiacciajo si possono scorgere tutti gli intermedj fra la neve ed il ghiaccio ordinario.

Per ultimo, parlando del ghiaccio, non è da tacere come il Tyndall, comprimendo, per mezzo di un torchio idraulico, il ghiaccio posto in opportuni modelli di legno, potè convertirlo successivamente in sfera, in cilindro, ecc. Nelle esperienze di Tyndall il ghiaccio si frantumava sotto la compressione, ed immediatamente si cementava. Ma, come osserva lo Stoppani, nostro concittadino e celebre geologo, può darsi che sotto una pressione lentissima il ghiaccio cambi forma, senza frantumarsi, e per semplice compressibilità o plasticità.

584. **Cangiamento del punto di fusione colla pressione.** Dopo quanto abbiam detto, s'indovina facilmente che la pressione esteriore non deve essere senza influsso sulla fusione e solidificazione dei corpi. È naturale che la pressione esteriore debba ritardare il punto di fusione o di solidificazione dei corpi che nel fondersi o nel solidificarsi aumentano di volume. Thomson seppe abbassare il punto di congelazione dell'acqua a — 0°,059 con una pressione di 8 atmosfere, ed a — 0°,129 con una pressione di 16 atmosfere. Mousson è arrivato ad abbassarlo fino a — 18°, ed a — 20°, con una pressione di 13,000 atmosfere. La pressione in questo caso fa le veci del calorico nell'opporsi all'esercizio delle forze che producono nell'acqua la forma cristallina.

Allo stesso modo s'intende facilmente che l'effetto della pressione dovrà essere favorevole al fenomeno, qualora il corpo nel fondersi o solidificarsi si restringa. L'esperimento venne fatto da Bunsen sul bianco di balena e sul paraffino, e ottenne i seguenti risultati. Il bianco di balena alla pressione di 1 atmosfera si solidifica a 47°,7, alla pressione di 29 atmosfere si consolida a 48°,3, a quella di 96 atmosfere lo fa a 49°,7; invece premuto per 141 atmosfere cangia stato a 50°,50, e se la pressione cresce fino 156 atmosfere non diventa solido che a 50°,9. Il punto di solidificazione del paraffino si eleva da 46°,3, a 48°,9 ed a 49°,9, quando la pressione da un'atmosfera diventa 85, e 100 atmosfere.

585. **Soprafusione.** Resta ora a dire di un fatto che, almeno in apparenza, è in opposizione a quanto abbiam stabilito come legge generale, ed è che un liquido, in qualche caso, può essere raffreddato al dissotto del punto di solidificazione, e ciò nondimeno mantenersi ancora nel suo stato. Ciò si osserva frequentemente nell'acqua, che rimane liquida a — 3°, ed a — 4°; anzi, preservandola con uno strato d'olio dall'agitazione dell'aria, o meglio sospendendóla in un altro liquido di egual peso specifico, si può conservare liquida fino a — 12°, ed a — 20°. Tale proprietà non appartiene solo all'acqua, ma anche allo stagno, che, solidificandosi a 228°, si può aver liquido a 225°; al fosforo, che, mentre si consolida a 44°, può restar liquido fino a 22°; lo solfo può mantenersi liquido fino ai 10° o 15° in piccole gocce, che si solidificano poi istantaneamente pel contatto di un corpo solido.

Il fenomeno descritto, conosciuto sotto il nome di *soprafusione*, fu studiato in modo particolare nell'acqua. Perchè l'esperienza riesca bene, è necessario che le differenti parti del liquido sieno in riposo. A questo intento, si raffredda il liquido all'alto e con

somma lentezza; si adopera acqua limpida, giacchè i movimenti delle particelle sospese in essa ne disturberebbero la quiete; e, come abbiam detto, se ne copre la superficie con uno strato d'olio, per impedire qualunque movimento che potrebbe esservi determinato dall'aria che si scioglie nell'acqua stessa. Anche nel vuoto pneumatico l'acqua può essere portata fino alla temperatura di 10 o 12 gradi sotto zero, senza che si congeli. È singolare poi che in tutte queste circostanze, lasciando cadere nel liquido un frammento di un corpo solido qualunque, ne viene sull'istante determinata la solidificazione, accumulandosi intorno al corpo aggiunto un ammasso di ghiaccio. Lo stesso avviene imprimendogli una lieve scossa.

Un fenomeno analogo ci viene offerto dai corpi che dallo stato di soluzione passano allo stato solido. Se si fa bollire, entro un vaso a collo stretto, una soluzione molto carica di deutosolfato di soda, e nell'effervescenza della ebollizione si chiude ermeticamente il vaso, la soluzione rimane costantemente liquida, anche portata a bassa temperatura. Ma se, quando è già raffreddata alla temperatura ordinaria, si apre il vaso, essa passa istantaneamente in concrezione, e si fa solida d'una consistenza tale da non potersi più estrarre, senza rompere il recipiente che la contiene. Essendosi turato il vaso durante l'ebollizione del liquido, si è impedito all'aria di rientrare a poco a poco nella fiala ad occupare il posto dei vapori, i quali, abbassandosi la temperatura, ricadono liquidi; sicchè, al levarsi del turacciolo, l'aria vi si precipita con tanta forza da terminare la soluzione, già peraltro giunta oltre il punto di saturazione, a solidificarsi.

Prima di soddisfare al desiderio che nasce naturalmente di una spiegazione dei fenomeni descritti, osservo che essi peraltro non possono provare nulla contro le leggi della solidificazione: giacchè quando questi liquidi, raffreddati anche molto più in là del loro punto di solidificazione, alla fine vengono a solidificarsi, la temperatura loro torna a crescere in un tratto, e precisamente fino al punto di solidificazione. Venendo ora a ciò che abbiamo proposto di spiegare, s'intenderà facilmente che, diminuendo la temperatura in modo uniforme, e tenendo il liquido lontano da qualunque scossa, le molecole rimangono le une rispetto alle altre in una specie d'equilibrio instabile. Sembra che fino a quando il liquido è mantenuto in quelle circostanze, benchè sia raffreddato al dissotto del punto di solidificazione, oppure sia già soprassaturato, manchino quei centri di poderosa attrazione, che chiamano le molecole non molto discoste ad unirsi in gruppi. Ma appena che in seno al liquido si formi qualche

gruppo di molecole, queste, non solo non possono più ridisciogliersi, ma rompono l'equilibrio instabile, cioè attraggono a sè le molecole congeneri che sono contigue e che stanno ancora liquide o sciolte; e ciò fino a tanto che si torni al vero punto di fusione o di saturazione, cioè insino a tanto che la temperatura, o l'attrazione del solvente verso le molecole del solido sia aumentata a segno da equilibrare l'attrazione reciproca delle molecole stesse.

Una agitazione troppo energica però potrebbe protrarre la solidificazione al dissotto della temperatura ordinaria, anzichè determinarla; giacchè simili moti impedirebbero alle molecole di cedere alle influenze che le une esercitano sulle altre. Questo fatto fu constatato da Despretz sull'acqua pura e sulle dissoluzioni di diversi sali nell'acqua. E da ciò lo stesso fisico fu indotto a definire il punto di solidificazione per « quella temperatura stazionaria e costante, che si stabilisce quando sia incominciato il passaggio del corpo dallo stato liquido allo stato solido ». L'acqua può essere inoltre mantenuta a temperature inferiori a 0°, senza che congeli, quando sia introdotta in tubi sottilissimi: l'azione attrattiva delle pareti del tubo sulle molecole del liquido impedisce in queste, fino ad un certo limite, i relativi spostamenti. Da qui si deduce una spiegazione assai probabile della resistenza che oppongono alla congelazione i liquidi di cui sono imbevuti i corpi organizzati.

Finalmente non è da tacere che i liquidi, e specialmente l'acqua, possono ancora mantenersi tali al dissotto del punto di congelazione, quando sieno in piccole gocce. Ciò dipende dall'azione che le molecole superficiali esercitano sulle interiori, ossia della *tensione* o *pressione molecolare dei liquidi alla superficie* (153, 5.°). Mousson ha osservato il fenomeno in alcune gocce d'acqua, di diametro minore di $1/2$ millimetro, poste sopra una superficie che non era bagnata da esse: il contatto però della punta di un ago bastò per farle congelare istantaneamente. Anche le piccole gocce di fosforo, di solfo e d'argento presentano una simile inerzia in un grado notevolissimo.

586. **Solidificazione lenta — punti di solidificazione separati**. Quando il passaggio dallo stato liquido allo stato solido si compie alla temperatura ordinaria, esso accade sempre con lentezza e senza riscaldamento sensibile. Per esempio, quando l'acqua gela a 0°, la solidificazione comincia nel medesimo tempo in diversi punti, ed in ciascuno di essi le prime molecole che agghiacciano, cedono il loro calorico latente alle molecole vicine, le quali, per questo fatto, sono mantenute allo stato liquido per

un altro istante ancora. Ecco perchè, al primo congelarsi dell'acqua, appariscono alcune sottili laminette di ghiaccio od alcuni aghi finissimi o filamenti molto esili, che s'incrocicchiano in mille fogge nel seno della massa liquida. A qualche distanza da questi primi filamenti se ne formano altri, e così di seguito fino a che il calorico latente siasi a poco a poco totalmente dissipato, ed il freddo abbia quindi invase tutte le molecole liquide, per riunirle in una sola massa solida. Se non vi fosse il calorico latente di liquidità, che nella solidificazione si rende libero, questa accadrebbe sempre istantaneamente. In questo poi e nei simili casi, in cui la solidificazione avviene lentamente, le molecole si aggregano più o meno regolarmente, secondo la loro natura e le altre circostanze del fenomeno.

Solidificazione istantanea. Ma quando un liquido fu condotto ad una temperatura inferiore a quella di solidificazione, allora il suo passaggio allo stato solido è istantaneo, se non in tutta la massa, per lo meno in una sua gran parte; giacchè, sebbene le prime parti che si congelano, cedano il rimanente calorico di liquidità alle vicine, esso non basta a mantenerle liquide, essendo in poca quantità, ed avendo le molecole stesse, per parte loro, già perduto una porzione notevole del proprio calorico latente, nel raffreddamento primitivo. Ecco come avvengono in un tempo e la solidificazione istantanea e l'elevamento della temperatura della massa fino al punto di solidificazione. In ogni caso poi, è naturale che la rapidità della solidificazione sia proporzionale alla prestezza colla quale si sottrae calorico alla massa. Quando il fenomeno è istantaneo, o più o meno rapido, le molecole prendono una disposizione irregolare, e le proprietà del solido che si forma non sono punto le medesime che mostra nel caso in cui la solidificazione avviene lentamente, e le molecole possono obbedire alle forze dalle quali vengono sollecitate. Un esempio di queste differenze di proprietà, prodotte dal modo d'aggregazione delle molecole, l'abbiamo nella tempera dell'acciajo, nei *matracci di Bologna,* nelle *lagrime batàviche* (60, 3.º), ecc.

ARTICOLO QUINTO

DELLA VAPORIZZAZIONE E DELLA LIQUEFAZIONE.

587. **Vaporizzazione.** Il passaggio dei liquidi allo stato aeriforme si chiama in generale *vaporizzazione.* La vaporizzazione può avvenire in due maniere: per *evaporazione* e per *ebollizione.* La differenza principale tra l'evaporare ed il bollire

è che il liquido evaporando si cambia in vapore solamente alla superficie, mentre nell'*ebollizione* i vapori si formano in tutte le parti della massa liquida.

Evaporazione. In generale tutti i liquidi alla temperatura ordinaria evaporano; ma non lo fanno tutti con eguale facilità. I liquidi meno coerenti si cambiano in vapore più facilmente degli altri. Non diremo però che la facilità di evaporare è nella semplice ragione inversa della coerenza dei liquidi, perchè le molecole che passano a stato aereo non solo debbono vincere la coesione, ma acquistare l'*elasticità* o la *forza espansiva* o la *tensione* (156) necessaria al nuovo stato. I liquidi che più facilmente passano allo stato aeriforme si dicono *volatili*, e gli altri si chiamano *fissi*. Alcuni di quest'ultimi, portati ad una bassa temperatura, non danno più indizio di evaporazione. Così Faraday ha riconosciuto che il mercurio cessa di vaporizzare a temperature inferiori a quattro gradi sotto zero; ed il canonico Bellani trovò pure una temperatura limite della vaporizzazione dell'acido solforico.

588. **Nel vuoto tutti i liquidi volatili vaporizzano istantaneamente**. Per lungo tempo si credette dai fisici che alla formazione dei vapori fosse necessaria la presenza dell'aria, la quale, agendo per affinità sulla superficie dei liquidi, li determinasse ad assumere lo stato aeriforme, e li mantenesse poi colla stessa forza nello stato medesimo. Ma un semplice esperimento ci persuade del contrario. In un vaso pieno di mercurio si capovolga un tubo di vetro, chiuso ad una estremità e riempito dello stesso liquido; indi, per mezzo di un secondo tubo ricurvo, si faccia entrare nel primo un po' di acqua: questa, per legge idrostatica, si porta al dissopra della colonna mercuriale, ed in parte evapora istantaneamente, come si conosce dalla depressione della medesima colonna mercuriale. All'acqua sostituendo altri liquidi volatili, si riproduce più o meno sensibilmente lo stesso fenomeno, sempre con rapidità, e senza alcuna relazione al peso del liquido introdottovi; quindi, lungi dall'ammettere la necessità dell'aria alla formazione ed all'esistenza dei vapori, possiamo anzi stabilire come legge che i liquidi nel vuoto evaporizzano spontaneamente ed istantaneamente.

589. **A pari temperatura i vapori dei differenti liquidi hanno diversa elasticità, ossia l'elasticità dei vapori varia colla natura del liquido**. La depressione della colonna mercuriale nell'esperimento precedente è prodotta dalla elasticità del vapore che si forma: introducendo successivamente nell'apparato liquidi diversi, cangia la grandezza di questo

effetto. Se in un medesimo pozzetto si dispongono varj tubi, simili a quello adoperato nella precedente esperienza, tutti di eguali dimensioni, e contenenti tutti la stessa quantità di mercurio, di modo che, quando sono capovolti nel pozzetto, il liquido si fermi ovunque al medesimo livello; e in appresso si introduce in ciascuno di essi una goccia di un liquido differente da quello contenuto negli altri, la depressione della colonna mercuriale non avviene in tutti egualmente. Se, per esempio, si sono adoperati quattro tubi *a*, *b*, *c*, *d* (fig. 540), e nel secondo si è introdotta una goccia d'acqua, nel terzo una goccia d'alcool, e nel quarto una goccia di etere, si vede che la depressione sotto il livello del mercurio nel primo tubo *a*, in cui fu introdotto nulla, cresce dal secondo al quarto; dunque, dalla grandezza dell'effetto argomentando alla grandezza della causa, bisogna dire che la elasticità del vapore di etere è maggiore di quella del vapore alcoolico, e quella di quest'ultimo supera la elasticità del vapore acqueo; ossia, che a pari temperatura i varj vapori hanno differente elasticità.

Fig. 540.

Una cosa poi che non bisogna tacere è che le variazioni di temperatura hanno una ineguale influenza sui differenti vapori. Se l'apparecchio sopra descritto a quattro tubi viene esposto successivamente a temperature crescenti, si vede che la tensione aumenta colla temperatura in maniera molto ineguale pei diversi vapori; giacchè le differenze relative dei livelli delle colonne mercuriali variano moltissimo.

590. **La quantità di vapore che si può sviluppare in uno spazio chiuso ha un limite.** Si imagini un recipiente di capacità variabile, perfettamente chiuso e vuoto: per esempio, un vaso cilindrico di vetro collocato in posizione verticale, nel quale vi sia uno stantuffo mobile, ottimamente adattato alla cavità, e da principio messo a tal distanza dal fondo da rimanergli dissotto uno spazio vuoto e determinato. Supponiamo d'introdurre in questo spazio un poco di acqua. Questo liquido comincerà a svaporare rapidamente, e il vapore, diffondendosi nella cavità, l'empirà tutta, poscia andrà costipandosi sempre più, e nel tempo stesso premerà il fondo, la parete curva del cilindro, e la base inferiore dello stantuffo, cercando di espandersi. Se s'impedisce il movimento dello stantuffo, il vapore non potrà far altro che costiparsi vieppiù; ma ben presto, suppo-

nendo costante la temperatura, l'evaporazione cesserà, ed il soprappiù dell'acqua rimarrà liquida. Che se allora si comprime lo stantuffo, in modo da diminuire la cavità, l'interna parete del vetro si copre come di un velo liquido, e lo stratarello di acqua, che v'è sul fondo, s'ingrossa, ossia una parte del vapore torna allo stato liquido, o, come si dice, *precipita*.

Facciamo adesso una supposizione contraria: solleviamo lo stantuffo per un certo tratto. In tal caso lo spazio interno aumenterà, ma nel tempo stesso una quantità proporzionale del liquido ritornerà allo stato aeriforme, e così nell'unità di spazio della cavità si manterrà costantemente la medesima porzione di vapore. Se, anche dopo che tutto lo strato liquido è scomparso, si continua a sollevare lo stantuffo, il vapore dell'unità di spazio evidentemente diminuirà. Tutto ciò si può verificare meglio con un barometro a lungo pozzetto (fig. 541). Il tubo barometrico *ab* contiene etere, ed è molto più lungo di un barometro ordinario, perchè si prolunga nel pozzetto *cd*. Elevando il tubo *ab*, si esibisce nuovo spazio al vapore, ed invece infossando il tubo stesso nel pozzetto, lo spazio occupato dal vapore diminuisce. Quando uno spazio contiene la maggior quantità di vapore che può contenere nelle sue circostanze, si dice che è *saturo* di vapore, o che il vapore vi si trova *allo stato od al punto di saturazione*.

Fig. 541.

Dopo quanto abbiam detto, ognuno s'accorge del motivo di queste parole: è la somiglianza del fenomeno, che esaminiamo, con quello della soluzione. Ma vi sono altri punti d'analogia fra il processo della soluzione e quello dell'evaporazione. A quella guisa che, elevando la temperatura di un solvente, generalmente aumenta la quantità della sostanza che può tener disciolta, scaldando la cavità del cilindro di cui abbiam supposto di far uso fin qui, senza movere lo stantuffo, lo stratarello di acqua che giace sul fondo diminuisce ben presto. Siam dunque così tratti a conchiudere che la quantità di vapori che può svilupparsi in uno spazio chiuso ha un limite, il quale dipende dalla grandezza dello spazio e dalla temperatura.

591. **Forza elastica dei vapori — massimo di tensione.** Com'è naturale, anche la tensione o la forza espansiva

dei vapori è limitata. Se nell'esperimento supposto più sopra si pon mente alla forza necessaria per comprimere lo stantuffo, si trova che questa va successivamente crescendo, finchè lo spazio interno è divenuto saturo; ma da qui innanzi la stessa forza può continuare a deprimere lo stantuffo; e palese ne è il motivo: dal punto di saturazione in poi la quantità di vapore contenuta nell'unità di spazio è costante. Dunque, quando lo spazio è saturo, anche la tensione è *massima*. Ritirando lo stantuffo, lo spazio interno si mantiene saturo finchè havvi liquido, e quindi il vapore si conserva al massimo di tensione, se pure la rapidità della evaporazione corrisponde a quella del movimento dello stantuffo. Quindi si dice che la tensione dei vapori che si trovano nello stato di saturazione, a una temperatura determinata, non dipende dallo spazio che occupano.

La forza espansiva dei vapori varia colla temperatura; ma in modo diverso a seconda che lo spazio in cui sono raccolti, è o no al punto di saturazione. Nei vapori che sono in istato di saturazione la forza espansiva cresce e diminuisce a un dipresso come nei gas, cioè in ragion diretta della temperatura; giacchè, introducendo una piccola quantità di un vapore nell'apparato che ci ha servito per misurare la dilatazione dei gas, si trova che, finchè questo vapore non ha raggiunto il punto di saturazione, il volume di esso cresce o diminuisce in maniera conforme alla legge di rarefazione dei gas. Ma non è più così, se i vapori sono allo stato di saturazione. Allora la loro forza espansiva cresce o diminuisce assai più rapidamente che nei gas. Lo si conferma esperimentalmente per mezzo di due canne barometriche (fig. 542). Dopo d'aver fatto il vuoto nel recipiente di metallo, posto al dissopra di uno dei due tubi, vi si fanno passare delle piccole bolle d'etere, in quantità tale che ne rimanga un piccolo strato in cima alla colonna mercuriale. A questo intento serve una pipetta graduata (fig. 543), la cui estremità s'introduce nel pozzetto. Poscia, si scalda o si raffredda gradatamente il recipiente metallico, osservando la differenza fra le altezze del mercurio nelle due canne, alle diverse

Fig 543. Fig. 542.

temperature della massa aeriforme. I risultati provano evidentemente la legge enunciata; ed è ben naturale, giacchè, elevando la temperatura di uno spazio che si mantenga costantemente saturo, in esso viene a trovarsi maggior quantità di vapore, e questo vapore è più caldo. Se il vapore acqueo alla temperatura ordinaria ha una tensione appena sufficiente per deprimere d'alcuni millimetri una piccola e sottile colonna di mercurio, a temperature più elevate, ha una tensione tale da sollevare pesi enormi, e da lanciare lontano i più grossi projettili: le miserabili catastrofi, che avvengono nei casi di esplosione delle caldaje a vapore, narrano, a note dolorose ma evidenti, l'accresciuta tensione del vapore acqueo alla temperatura elevata della caldaja.

592. **Evaporazione in uno spazio che contenga già altri aeriformi.** Finora abbiamo tacitamente supposto che lo spazio in cui vien messo un liquido ad evaporare fosse vuoto; ma il fenomeno si ripete anche in uno spazio occupato dall'aria, o già saturo di un altro gas che non abbia azione chimica sui nuovi vapori che si formano. Si mostra qui un'altra analogia colla soluzione.

Per spiegare questo fenomeno, basta riflettere che da una parte gli aeriformi, per la loro forza espansiva, tendono a mescolarsi anche attraverso di aperture impercettibili, e quindi, siccome il gas od il vapore, che preme sulla superficie di un liquido, è poroso, così i vapori di questo liquido si formano nei punti della superficie che corrispondono agli intervalli dell'aeriforme preesistente, ed i vapori prodotti si mescolano a poco a poco con questo, finchè lo spazio sia saturato come nel vuoto; e dall'altra parte, essendo le molecole di diversa natura, e non avendo fra loro affinità chimica, l'attrazione non agisce su loro per aggregarle allo stato liquido, sebbene si trovino ad una distanza alla quale la suddetta forza le ridurrebbe a quello stato, quando fossero della stessa natura, o capaci di esercitare fra loro un'azione chimica.

Leggi della mescolanza dei gas e vapori. In primo luogo, la forza elastica del vapore, che satura uno spazio pieno di gas, è la stessa che nel vuoto. Questa prima legge di Dalton sulla tensione di un vapore mescolato con un altro vapore, o con un gas che non agisca chimicamente sopra di esso, è dimostrata con un apparecchio semplicissimo. Esso si compone di un tubo di vetro A (fig. 544), agli estremi del quale sono fissati con mastice due rubinetti *dd* di ferro. Il rubinetto inferiore è munito di una tubulatura, che mette in comunicazione il tubo A con un secondo tubo B di diametro minore. Una scala, interposta

a questi due tubi, è destinata a misurare l'altezza della colonna di mercurio in ciascuno di essi. Ciò posto, quando siasi empito il tubo A di mercurio asciutto, chiuse le chiavette *dd*, si avvita dapprima sul rubinetto più alto invece dell'imbuto C, un pallone di vetro, chiuso esso pure da una chiavetta, e pieno d'aria secca o di qualsiasi altro gas. Aprendo poi le tre chiavette, si lascia effluire dal tubo A una parte di mercurio, che è surrogata dall'aria secca del pallone. Si chiudono allora le chiavette, e siccome l'aria che trovasi nello spazio A si è dilatata all'escire dal pallone, e trovasi ad una pressione minore dell'atmosferica, la si riduce a quest'ultima pressione, versando del mercurio nel tubo B, fino a che giunga ad essere allo stesso livello nei due tubi. Finalmente si toglie il pallone ed il rubinetto, e vi si sostituisce un imbuto C, munito esso pure di una chiave *a*, che non è traforata come le altre, ma ha soltanto una piccola cavità da una parte. Versato nell'imbuto C il liquido che vuolsi far vaporizzare, e notato il livello I del mercurio, indi, aperta la chiavetta *b*, si fa girare la chiave *a* in modo che la sua cavità si empia di liquido; poi la si rivolge affinchè, il liquido penetri nello spazio A, e qui vaporizzi. Così si continua nell'introdurvi il liquido a centellini, fino a saturare di vapore l'aria che è nel tubo. Siccome la tensione del vapore formato nello spazio A si è aggiunta a quella dell'aria che già vi esisteva, il volume è cresciuto; ma lo si riduce facilmente al volume primitivo, versando nuovamente mercurio nel tubo B. Quando si fa arrivare per tal guisa il mercurio allo stesso livello I, che aveva prima, si osserva nei tubi B ed A una differenza di livello B*o*, la quale misura evidentemente la tensione del vapore che si è formato, perchè la tensione dell'aria non ha variato, avendo essa ripreso il suo volume primitivo. Or bene si rifletta che facendo passare nel vuoto barometrico alcune gocce di quello stesso liquido introdotto nello spazio A, si osserva una depressione, precisamente eguale a B*o*; dunque, a pari temperatura, la tensione d'un vapore è la stessa, sì nel vuoto che in un gas.

Fig. 544.

Da questa prima legge di Dalton ne consegue la seconda, che cioè la forza elastica della mescolanza eguaglia la somma delle forze elastiche del gas e del vapore mescolati, quando non abbiano fra loro alcuna azione chimica. Difatti, se tanto il vapore come il gas mescolati non variano di forza elastica, quando lo spazio nel quale sono racchiusi rimanga costante, è certo che le pareti di questo spazio sopporteranno la pressione dell'uno e dell'altro, di modo che la forza elastica del miscuglio sarà rappresentata appunto dalla somma delle elasticità dei singoli aeriformi mescolati. L'esperimento precedente ve ne offre la prova. Quando il mercurio è risalito al livello I, la mescolanza sostiene la pressione atmosferica, ed il peso della colonna mercuriale Bo; la prima rappresenta la tensione dell'aria secca, ed il secondo la tensione del vapore.

Le due menzionate leggi di Dalton si applicano anche ai vapori provenienti da miscuglj di liquidi che non esercitano fra loro alcuna azione dissolvente. Ma, secondo le esperienze di Magnus e Regnault, cessano di essere esatte se i vapori partono da altri miscuglj. Questi due fisici hanno stabilito che la forza elastica di un miscuglio di vapori, prodotti dalla mischianza di due liquidi che si disciolgono, secondo proporzioni più o meno considerevoli, ma non illimitate, eguaglia, press'a poco, la forza elastica del vapore del liquido più volatile; mentre la forza elastica della mescolanza dei vapori, provenienti dal miscuglio di due liquidi che si sciolgono reciprocamente, in qualunque proporzione, è anche minore della tensione del vapore del liquido più volatile. Lo stesso principio si può applicare alla tensione del miscuglio di due o più vapori che agiscono chimicamente gli uni sugli altri, o si formano da liquidi separati.

Non si creda però che la presenza dell'aria o di un altro gas nello spazio ove si formano i vapori d'acqua, non abbia proprio nessuna influenza. Per mezzo di numerose e delicate esperienze si è potuto constatare che l'elasticità del vapore acqueo nei gas ha un valore un po' più debole che nel vuoto. La differenza non è che di qualche decimo di millimetro: essa è irregolare; nè sembra legata alla temperatura, e varia in modo differente nell'aria e nell'azoto. Se essa non è dovuta ad una causa d'errore, sfuggita costantemente alla osservazione, dovremo dire che le leggi di Dalton sulla mescolanza dei gas e dei vapori non si verificano esattamente in pratica.

Tensione dei vapori in un ambiente inegualmente caldo. Molto diverso è il risultato che si ottiene quando la mescolanza si fa

fra due volumi saturi di uno stesso vapore a diversa temperatura. Supponiamo d'avere due palloni di vetro *p* e *q* (fig. 545), che possano comunicare fra loro per mezzo di un tubo, siano pieni di vapore e contengano anche un po' di liquido: il primo *p* sia circondato di ghiaccio, ed il secondo *q* si trovi ad una temperatura molto più alta. Finchè i due palloni non comunicano fra loro, la tensione dei vapori nell'uno è differente da quella dei vapori nell'altro. Ma appena si stabilisce la comunicazione fra i due globi, il vapore di *q*, per l'eccesso della sua tensione, passa nel globo *p*. Qui pertanto una porzione di vapore si condensa, e là altro vapore si forma, effluendo continuamente in *p*. Il doppio fenomeno non cessa finchè tutto il liquido di *q* sia passato in *p*; ed allora lo spazio della capacità acquista la tensione massima del vapore in *p*. Generalizzando questo risultato, possiamo dunque stabilire che quando due vasi, riempiti del medesimo vapore, e comunicanti fra loro, hanno diversa temperatura, la tensione del vapore è la stessa in ambedue i vasi, e propriamente è quella che corrisponde alla temperatura del vaso meno caldo.

Fig. 545.

L'esperienza può disporsi in altro modo. In un vaso *a* (fig. 546), munito di un lungo tubo ricurvo *b*, si versi una certa quantità di acqua o meglio di etere solforico; poscia lo si metta a bollire; e quando vi venne espulsa tutta l'aria, si tuffi l'estremità del tubo in un vasetto *c* pieno di mercurio. Ben presto il mercurio si eleva successivamente nel tubo, finchè si stabilisce ad un'altezza determinata, appena che la temperatura dell'apparecchio sia divenuta eguale a quella dell'ambiente. Se allora si accosta un pezzo di ghiaccio, od un miscuglio refrigerante alla boccia *a*, il mercurio nel tubo *b* si eleva subito e con rapidità. Da qui appare evidentemente che per condensare il vapore contenuto in un vaso, basta raffreddarne qualche parte.

Fig. 546.

593. **Circostanze che accelerano od impediscono l'evaporazione.** Per cavare dalle notizie acquistate le conseguenze che ci interessano, gioverà stabilire l'influenza d'alcune circostanze nel fenomeno dell'evaporazione, cosa che può dirsi

evidente dopo quanto si è detto, ma che pur conviene che sia formulata. Tali circostanze sono la temperatura, l'estensione della superficie del liquido evaporante, la pressione che il liquido stesso sopporta, e la quantità di vapore del medesimo liquido, preesistente nello spazio sovrastante.

La celerità dell'evaporazione, e quindi la quantità di vapore sviluppata nell'unità di tempo, è innanzi tutto direttamente proporzionale all'estensione della superficie, dalla quale partono i vapori stessi; ed è cosa per sè evidente: se nel fenomeno i vapori non si formano che alla superficie, aumentando questa, accrescono le parti che li producono, e per conseguenza anche la quantità che di essi se ne ottiene, perchè ogni punto della superficie, nelle stesse circostanze, dà origine ad una porzione costante di vapore. Un fiume che, rotti gli argini, inonda le circostanti campagne, occupando una superficie più estesa di quella che ha ordinariamente, sviluppa una quantità di vapori molto maggiore di quella che produrrebbe se, rispettati quei ripari, seguitasse a camminare nel suo letto. I paesi della bassa Lombardia sono poco salubri, perchè le larghe superficie delle acque, che bagnano quegli ubertosi prati, formano una quantità eccessiva di vapori. Per la stessa ragione, i luoghi circondati da estese paludi non possono essere abitati; ma se l'arte sapesse formare un letto a quelle acque, e limitare la loro superficie, quelle medesime pianure, mentre si coprirebbero di una vegetazione lussureggiante, potrebbero raccogliere nel loro seno una quantità innumerevole di persone, e prestar loro un soggiorno forse non meno giocondo di quello che ci offrono le nostre ridenti colline di Brianza.

Un'altra circostanza, da cui dipende l'essere più o meno rapido il fenomeno in discorso, è la quantità di vapore dello stesso liquido, preesistente nello spazio sovrastante. Ognuno sa facilmente indicarne il motivo. Il vapore preconcetto nello spazio ambiente è sempre un ostacolo più o meno energico allo sviluppo di altro vapore, finchè diviene impedimento assoluto, quando lo spazio medesimo raggiunge il suo punto di saturazione; e quindi, siccome ogni forza diminuisce coll'allontanarsi dal suo massimo di intensità, così è chiaro che quanto più lo spazio ambiente è lontano dal suo punto di saturazione tanto più debole è la resistenza del vapore preconcetto alla formazione di altro vapore, e quindi tanto maggiore sarà la quantità di quest'ultimo. In una atmosfera perfettamente calma l'evaporazione è lenta, perchè il vapore preconcetto si accumula facilmente al dissopra del liquido, e s'oppone più o meno all'ulteriore svi-

luppo di nuovo vapore; mentre in una atmosfera agitata essa si effettua rapidamente, perchè l'aria nel suo movimento involа, a così dire, i vapori che si trovano in quello spazio, e lo mantiene lontanissimo dal punto di saturazione. Quando soffiano i venti, la superficie della terra si dissecca prontamente, perchè l'acqua che la inumidisce, rinnovellandosi l'atmosfera, evapora con rapidità singolare.

Dalton riflettendo che il vapore, entrando in uno spazio non saturo dello stesso vapore, perde tanto di tensione quanto si espande, e si espande per quanto lo spazio è lontano dal suo punto di saturazione, ridusse la circostanza precedente a questa legge: *l'evaporazione è in ragion diretta della differenza di tensione fra i vapori preconcetti e i nascenti.*

La temperatura quanto più elevata tanto meglio favorisce l'evaporazione; perchè, accrescendo essa, da una parte diminuisce la coesione, ossia la forza che tien legate le molecole nel liquido, o, come si dice, il limite di tensione del liquido si eleva, e dall'altra aumenta la forza elastica dei vapori che si concepiscono. Nello stesso tempo, colla temperatura si alza anche il punto di saturazione, e quindi non cresce solo la rapidità del fenomeno, ma (quand'anche lo spazio fosse chiuso) eziandio la quantità di vapore che realmente si sviluppa. Per questa ragione, nell'estate l'atmosfera contiene una quantità di vapori maggiore di quella che possiede nell'inverno: un vaso esposto al sole si vuota più rapidamente, che non quando è lasciato ad una bassa temperatura.

Quanto alla pressione dell'aria soprapposta, osserviamo che diminuendo essa, cresce la libertà delle molecole superficiali, le quali si possono pertanto più facilmente staccare dalle altre. Non si dimentichi però che, se lo spazio è limitato, diminuendo la pressione dell'aria sovrastante al liquido in evaporazione, diminuirà la durata del fenomeno, ma non aumenterà la quantità di vapore sviluppata, giacchè la quantità di vapore che rende saturo uno spazio vuoto è quella ancora che si richiede per saturare uno spazio pieno d'aria: il divario sta solo nel tempo, il quale è molto maggiore quando più densa è l'aria, contenuta nello spazio medesimo.

Da tutto ciò appare che, per accelerare l'evaporazione di un liquido, converrà aumentarne la superficie e la temperatura, e nel tempo stesso agitare l'aria soprastante, e se è possibile, diminuire anche la pressione di essa.

Queste regole sono così naturali, scaturiscono così spontanee dal concetto medesimo dell'evaporazione, che chiunque voglia, per esempio, far asciugare una stoffa le ha in mente e le pone

in pratica, sebbene non sappia esprimerle a parole. Non è vero che a questo intento si comincia dall'esporre la stoffa medesima al sole; poscia si ha cura di distenderla per quanto meglio è possibile, non già in una stanza chiusa, ma all'aria aperta; e si brama che, mentre la stoffa è così spiegata, abbia a destarsi un po' di vento, onde la stoffa asciughi in breve?

594. **L'evaporazione apporta sempre freddo**. Dall'esame delle circostanze che favoriscono o ritardano l'evaporazione, si passa naturalmente a quello delle circostanze che accompagnano il fenomeno stesso, o ne sono una necessaria conseguenza. Fra queste la principale è che l'evaporazione apporta sempre freddo. La causa dell'evaporazione è il calorico. Le molecole di un liquido non possono passare allo stato aeriforme, senza la quantità di calorico loro necessaria per separarsi dalle molecole circostanti ed acquistare la forza espansiva corrispondente al nuovo stato. Quindi la porzione del liquido che evapora, sottrae calorico alla massa rimanente, la quale, non ricevendo calorico, o ricevendone una quantità minore di quella che perde, patisce un abbassamento di temperatura, tanto maggiore quanto più grande è la perdita e minore il compenso, ossia quanto più rapida l'evaporazione e minore la quantità di calorico, che da qualunque altra parte può ricevere. La cosa è evidente, ma può essere anche confermata con una elegante esperienza, cioè colla congelazione dell'acqua nel vuoto.

Sotto la campana della macchina pneumatica si collochi una sottile capsula metallica (fig. 547); vi si versi un qualche grammo d'acqua, disponendovi sotto un vasetto che contenga dell'acido solforico; e poscia si estragga l'aria dal recipiente. L'evaporazione diviene tosto rapidissima; i vapori appena nati, sono assorbiti dall'acido solforico, sicchè la rapidità del fenomeno continua: l'acqua che evapora sottrae calorico a quella che rimane nella capsula; ed in fin dei conti si ottiene un pezzo di ghiaccio. Il raffreddamento, che si produce a questo modo, è tale che anche il mercurio può essere egualmente congelato. Per ciò si riveste la bolla di un termometro a mercurio con una piccola spugna, o con qualche altro tessuto facile ad imbeversi dei liquidi; si inumidisce questo corpo con acido solforoso liquido; poi lo si mette sotto la campana della macchina pneumatica, e si pratica il vuoto. Si vedrà ben presto la colonna mercuriale abbassarsi fino a — 10°, — 20°, — 30°, ed alla fine tutto il mercurio della bolla divenire solido.

Fig. 547.

Si può fare l'esperimento anche in altra maniera. Si fa bollire un po' d'acqua in un tubo di vetro; indi, espulsa tutta l'aria, se ne chiude l'estremità, fondendola alla fiamma di una lampada. Poscia si mette una mescolanza frigorifera nell'inviluppo di metallo (fig. 548) che riveste la parte superiore del tubo. Allora il ghiaccio si forma alla superficie dell'acqua, che evapora rapidamente per la condensazione dei vapori all'alto.

Fig. 548.

Dalla circostanza menzionata, che ogni liquido evaporando produce un raffreddamento, scaturisce la spiegazione di moltissimi fenomeni. Tutti forse avrete, per esempio, osservato che un cane quando esce dall'acqua e si ferma al sole per asciugarsi, trema pel freddo, quasi fosse colpito di febbre. Il motivo è palese: l'acqua rimasta aderente alla pelle ed ai peli dell'animale, favorita dalla temperatura, evapora rapidamente, e così gli rapisce una notevole quantità di calorico. Se i peli del cane fossero inzuppati d'etere solforico, il quale di mano in mano che evapora fosse rinnovato, il freddo prodotto basterebbe a far morire l'animale, anche sotto il sole più cocente. Dopo il sudore, noi sentiamo freddo allo stesso modo, perchè l'acqua traspirata alla superficie della pelle assorbe calorico onde vaporizzare; e quindi, per ristorarci dal caldo, usiamo agitare l'aria intorno al volto, sicchè, rinnovando l'atmosfera circostante, s'affretti l'evaporazione del sudore medesimo. Se dopo d'aver bagnata una mano nell'acqua, o meglio in un liquido più volatile, come l'alcool o l'etere solforico, la si agita, sentiamo freddo, perchè il liquido nel mutarsi in vapore ci sottrae calorico. E qui dobbiamo ammirare una proprietà del nostro organismo. L'uomo può conservare la temperatura sua propria anche in camere riscaldate ad elevatissima temperatura, come di 60° centigradi, perchè la traspirazione cutanea gli sottrae continuamente calorico; ma perirebbe all'istante quando, divenendo satura di vapore la camera stessa, non gli fosse più possibile traspirare. La stessa dottrina ci fa conoscere la ragione di alcune costumanze. Gli Spagnuoli usano di esporre ad una debole corrente d'aria l'acqua chiusa in certi vasi di stoviglia sottile, che essi chiamano *alcarazas*, dotati di un grado particolare di porosità. Il liquido interno trapela lentamente traverso ai pori del recipiente; e così la superficie esteriore del vaso si copre di un sottil velo liquido, che, evaporando rapidamente, raffredda alquanto la parete, e mantiene l'acqua interna per 10°, 15° ed anche 20° dissotto alla temperatura dell'ambiente. Gli Indiani nell'estate fabbricano le loro tende al sole, e poscia le bagnano d'acqua; la quale, evaporando in seguito con rapidità, abbassa

la temperatura dello spazio sottostante. A Bengala si usa disporre sulle finestre delle stanze un fascio di rami d'albero, vestiti delle loro foglie, e si ha la cura di mantenerli bagnati. Così l'aria che entra nell'appartamento si rinfresca per contatto, attraversando le foglie raffreddate per l'evaporazione dell'acqua. Anche noi in estate usiamo un artificio poco dissimile per avere fresche le nostre stanze, annaffiamo cioè il suolo, mantenendo le finestre aperte in modo da eccitarvi una corrente d'aria, e così accelerare l'evaporazione.

Applicazioni industriali. Anche l'industria trasse partito dal principio esposto per preparare grandi masse di ghiaccio, facendo rapidamente evaporare l'acqua. A questo intento, invece di far uso di potenti macchine pneumatiche, Taylor e Martineau espellono l'aria da un vasto recipiente, introducendovi vapore acqueo; poscia ne raffreddano le pareti con una corrente d'acqua fredda, e lo mettono in comunicazione col vaso in cui si trova l'acqua da congelare. Il vapore viene assorbito dall'acido solforico concentrato. Rizet e Carrè imaginarono un altro processo. Essi collocano in un vaso d'acqua salata i recipienti di rame destinati a contenere l'acqua da agghiacciare. Nel liquido esterno dispongono un sistema di tubi, che riempiono d'etere, i quali comunicano con una campana, dove, per mezzo di una macchina a vapore della forza di dieci cavalli, viene praticato il vuoto. La stessa macchina mette in moto una tromba premente, che spinge il vapore d'etere in un refrigerante, circondato d'acqua fredda, dal quale l'etere ritorna in seguito nei tubi di evaporazione, in maniera che può servire per parecchie volte di seguito. L'apparecchio presentato all'Esposizione Univesale di Parigi era capace di preparare 135 chilogrammi di ghiaccio all'ora, ad un prezzo inferiore a quello di un centesimo di franco per chilogrammo.

595. **Ebollizione — sue leggi.** Ora esaminiamo la formazione dei vapori in tutta la massa liquida, ossia l'ebollizione. Le leggi di questo fenomeno sono le seguenti: 1.° ogni liquido comincia a bollire ad una temperatura determinata, che, sotto una pressione costante, ed in un vaso della medesima sostanza, è fissa ed invariabile; 2.° la temperatura del liquido rimane costante per tutto il tempo dell'ebollizione; e 3.° il volume del vapore è molto più grande che quello della massa liquida, che l'ha prodotto; così, per esempio, l'acqua fornisce un vapore di un volume 1700 volte più grande del suo proprio. È inutile avvertire all'analogia di queste leggi con quelle della fusione.

Descrizione del fenomeno. Sottoponendo fuoco ad un vaso pieno d'acqua, lo strato inferiore del liquido, che primo sente

l'azione del calorico, si dilata, e, divenendo più leggero degli altri strati, sale, lasciando il posto a questi, i quali vengono successivamente a riscaldarsi. Questo moto interno del liquido (che si può rendere sensibile, gettando nel liquido medesimo alcuni minuzzoli di un corpo leggero) si va accelerando a misura che aumenta il calorico somministrato al liquido. All' elevarsi della temperatura, l'affinità dell' acqua verso l'aria in essa ospitante, viene diminuita, e dall'altra parte è aumentata la tendenza dell' aria a ripigliare lo stato libero; quindi si veggono innanzi tutto formarsi delle minime bollicine d'aria, specialmente in contatto colla superficie interna del vaso, che per un momento rimangono, in forza d'adesione, attaccate alla parete medesima, e poi sfuggono all'esterno. Insieme alle bolle d'aria, anzi dalle medesime favorite, si svolgono anche altre bolle, le quali sono piccole masse di vapore, che aumentando di elasticità per acquisto di calorico, vincono la pressione del liquido e dell'atmosfera; e siccome un corpo immerso in un fluido qualunque perde tanto di peso quanto è il peso del fluido che sposta, così queste bolle tendono a sollevarsi in ragion diretta della loro ampiezza. Ma da principio esse, attraversando gli strati superiori molto meno caldi, si condensano e scompajono prima di giungere alla superficie. I movimenti di queste bolle e la loro rapida successione producono delle apparenze, facili a distinguersi in un vaso di vetro, che assomigliano a coni irregolari, aventi le basi sul fondo del vaso, ed i vertici più o meno al dissotto della superficie del liquido. Il nascere e la condensazione successiva delle prime bolle di vapore cagionano quel fremito che ordinariamente precede l'ebollizione, e si dinota dicendo che il liquido *canta* prima di bollire. Esso non è altra cosa che l' effetto dello spostamento dell'acqua, nell'istantanea formazione di quelle bolle, e dell'urto della medesima, che accorre da opposte parti ad occupare il luogo che esse lasciano nello scomparire. In seguito, crescendo l'ampiezza delle bolle per l'aumento della temperatura degli strati inferiori, e diminuendo la causa della loro condensazione, che è la differenza di temperatura fra gli strati superiori ed inferiori del liquido, aumentano successivamente di volume (perchè alla loro superficie interna si formano altri vapori, e la pressione, che sopportano da parte del liquido, diminuisce a misura che si elevano); e così alla fine le masse vaporose giungono alla superficie e scoppiano nell'aria. A questo punto l'acqua prende un moto rapido, per effetto delle bolle medesime che salgono ed aumentano in ampiezza e numero, col crescere del calorico

trasmesso alla massa liquida: abbiamo allora il fenomeno della ebollizione.

596. **Condizioni della ebollizione.** Una minuta analisi del fenomeno descritto vi scopre che due ne sono le condizioni, cioè: 1.° che i vapori, concepiti nell'interno della massa, abbiano tanta elasticità da vincere la pressione che sopportano; e 2.° che trovino il calorico necessario alla loro formazione. La verità della prima condizione appare evidente, quando si consideri che allo svolgimento delle bolle vaporose dalla massa liquida si oppone la pressione vuoi dell'atmosfera, vuoi del liquido o di qualunque altra forza che agisca sopra di esse dall'alto al basso; epperò onde esse possano portarsi alla superficie del liquido, è necessario che la loro elasticità superi almeno di un punto la risultante di queste forze contrarie; fin a quando la prima rimarrà minore od eguale alla seconda, non avverrà mai il fenomeno dell'ebollizione. La seconda condizione poi, per quanto abbiam detto, è una conseguenza della prima; onde avvenga la ebollizione è necessario che l'elasticità dei vapori aumenti al punto che superi la pressione opposta; ma la tensione massima dei vapori non s'accresce che colla temperatura; dunque perchè avvenga il suddetto fenomeno, fa d'uopo che i vapori trovino il calorico necessario e alla loro formazione e all'acquisto della tensione sufficiente per vincere la resistenza al loro sviluppo.

597. **Spiegazione del fenomeno.** Le accennate condizioni della ebollizione ci mettono in grado di spiegarne le leggi, che già conoscete. Abbiam detto che l'ebollizione di un liquido avviene ad una temperatura determinata, la quale, nelle medesime condizioni, è costantemente la stessa, e si mantiene tale finchè tutto il liquido sia consumato in vapore. E chi non vede la ragione? L'ebollizione comincia quando la forza elastica del vapore supera la pressione; se la pressione non varia di intensità è chiaro che sarà necessaria sempre la stessa forza, per superarla, da parte del vapore; ma il vapore avrà la stessa forza solo alla stessa temperatura, perchè il massimo di tensione d'un vapore è costante colla temperatura; dunque l'ebollizione avverrà sempre alla stessa temperatura, quando la pressione si mantenga invariabile. Che se aumenta la quantità di calorico trasmessa al liquido in ebollizione, aumenterà la quantità del vapore che si concepisce e si svolge, ma non la temperatura della massa liquida; giacchè le molecole liquide hanno tutte la stessa capacità di ricevere il calorico, e tutte vaporizzano alla stessa temperatura; quindi, se per ipotesi fosse possibile comu-

nicare a tutte in un istante quella quantità di calorico necessaria alla loro vaporizzazione, esse passerebbero tutte istantaneamente allo stato aeriforme. Se ciò non avviene, è perchè il calorico comunicato successivamente è assorbito dalle più vicine alle parti scaldate del vaso. Epperò, crescendo la quantità di calorico somministrata al liquido, crescerà il numero delle molecole di esso che lo ricevono, e quindi aumenterà la quantità del vapore che si sviluppa; ma, finchè vi sono molecole egualmente capaci di assorbirlo, tutto sarà assorbito, e pertanto la temperatura del liquido stesso non potrà elevarsi. La temperatura alla quale ogni liquido entra in ebollizione, e che sebbene varj da un liquido ad un altro, pure è sempre la stessa, a parità di condizioni, per un medesimo liquido, e si mantiene costante per tutta la durata del fenomeno, si chiama *punto di ebollizione di quel liquido*.

Il Cantoni chiama *calorie di scaldamento* le quantità di calorico che conviene dare al liquido per elevarne la temperatura dallo zero termometrico al punto di ebollizione; dice *calorie di vaporizzazione* a peso od a volume le quantità di calorico necessarie perchè l'unità di peso o di volume del liquido si cambi totalmente in vapore; e denomina *calorie totali* la somma delle calorie di scaldamento colle calorie di vaporizzazione a volume. La tavola seguente vi mostra i punti d'ebollizione d'alcuni liquidi, ed accanto sono esposti i risultati dei calcoli del sagacissimo professore italiano.

Tavola dei punti d'ebollizione d'alcuni liquidi.

NOME DEL LIQUIDO	Punto di ebollizione	Calorie di scaldamento	Calorie di vaporizzazione a peso	Calorie di vaporizzazione a volume	Calorie totali
Mercurio	350,0	156,5	77,5	988,7	1545,0
Acqua	100,0	96,3	536,5	514,1	610,4
Alcool metilico	60,0	33,6	263,9	200,5	234,1
» etilico	78,4	35,5	208,9	156,5	192,0
Acido solforoso	— 8,0	—	94,6	138,0	138,0
Alcool amilico	132,0	56,8	121,4	88,9	145,7
Etere acetico	74,0	29,3	105,8	86,6	115,9
» etilico	35,5	12,9	91,1	63,7	76,6
Terebenteno	156,0	65,5	68,7	58,8	124,3
Solfo	440,0	167,9	72,4	111,8	279,7
Iodio	180,0	93,3	23,9	88,4	181,7

Chi osserva la tavola precedente, s'accorge ben presto che in generale le temperature d'ebollizione dei diversi liquidi, e nemmaneo le calorie di vaporizzazione a peso od a volume, non sono punto proporzionali alla coerenza relativa dei liquidi stessi. Ma, come avverte il Cantoni, il lavoro di vaporizzazione di un liquido comprende due atti distinti, cioè: il *lavoro di disgregamento* e quello d'*espansione*, che il Cantoni dice anche *potere dinamico*. Questo secondo lavoro è, in generale, ben piccolo rispetto al primo: tuttavia la coerenza relativa dei liquidi, considerati al momento della loro ebollizione, deve avere rapporto soltanto col lavoro di disgregamento. Il Cantoni pertanto calcolò separatamente il lavoro di espansione, onde, dalla notizia del lavoro complessivo, dedurre quella del lavoro di disgregamento. Vi offro qui sotto le conseguenze alle quali pervenne l'illustre nostro concittadino.

NOME DEL CORPO	Densità del liquido a 0°	Densità del liquido al punto di ebollizione	Densità del vapore al massimo di tensione	Volume relativo in metri cubi	Potere dinamico
Mercurio	13,596	12,768	6,976	3,240	33,482
Acqua	0,999	0,958	0,622	1,629	16,827
Alcool metilico	0,821	0,760	1,041	0,683	7,037
Acido solforoso	1,491	1,460	2,211	0,496	5,125
Alcool etilico	0,815	0,749	1,589	0,469	4,851
» amilico	0,827	0,732	3,150	0,267	2,758
Etere acetico	0,907	0,819	3,040	0,265	2,729
» etilico	0,739	0,700	2,556	0,239	2,473
Terebenteno	0,870	0,750	4,680	0,196	2,026
Jodio	4,948	3,693	8,753	0,542	5,599
Solfo	—	1,545	6,634	0,471	4,827

Per *volume relativo* di un vapore s'intende il rapporto della densità del liquido a quella del vapore da esso prodotto, supponendo che la temperatura si mantenga nel vapore qual era nel liquido da cui si spiccò, e riferendo la densità tanto dell'uno quanto dell'altro a quella dell'acqua a 4°. Il *potere dinamico* è computato in gradi dinamodi di mille chilogrammetri cadauno.

Dopo ciò, fu cosa facile al Cantoni determinare il lavoro di disgregamento, e le calorie impiegate in questo e nell'altro lavoro, cioè le calorie d'*elaterio* e quelle di *disgregamento*. Eccone i risultati.

NOME DEL CORPO	Calorie di elaterio	Calorie di disgregamento	Rapporto fra le due calorie indicate	Lavoro di disgregamento	Coesione relativa
Mercurio	79,06	909,6	11,5	383,2	1,917
Acqua	39,73	474,4	11,9	217,7	1,000
Alcool metilico	16,65	183,8	11,0	77,8	0,387
» etilico	11,45	145,05	12,7	66,3	0,306
Acido solforoso	12,10	125,9	10,4	53,3	0,265
Alcool amilico	6,51	82,4	12,7	34,9	0,174
Etere acetico	6,44	80,2	12,4	34,0	0,169
» etilico	5,84	57,9	9,9	27,0	0,122
Terebenteno	4,76	54,1	11,4	22,4	0,114
Solfo (liquido)	11,40	100,4	9,8	42,5	0,212
Iodio »	13,22	75,2	5,7	31,1	0,158

Appare di qui che: 1.° le calorie di disgregamento sono maggiori di quelle di elaterio; e 2.° le calorie di disgregamento del liquido sono maggiori delle calorie di fusione del solido.

398. **Ostacoli alla ebollizione.** Già s'intende da sè che onde il punto d'ebollizione si mantenga invariabile, non deve intervenire modificazione alcuna nelle condizioni del fenomeno, ossia nella grandezza degli ostacoli che si oppongono allo svolgimento dei vapori. Questi ostacoli si possono ridurre a tre, cioè: alla pressione atmosferica, alla adesione del liquido colla materia del vaso ed alle sostanze che fossero accidentalmente mischiate col liquido.

Pressione atmosferica. Cominciando dall'esaminare l'influenza della pressione atmosferica, dopo quanto abbiam detto, è chiaro che, aumentando o diminuendo questa pressione, l'ebollizione deve essere ritardata od accelerata; giacchè il liquido comincia a bollire quando la tensione dei vapori che produce vince la pressione a cui è sottomesso. Per questa ragione, se a livello del mare, sotto l'ordinaria pressione di 760^{mm}, l'acqua bolle a 100° centesimali, alle sommità dei monti, e in generale nei luoghi elevati al dissopra di quel livello, l'acqua bolle a temperature più basse, e tanto più basse quanto maggiore è l'altezza del luogo. La tavola seguente, che è il risultato di esperienze dirette, ne offre un'idea tanto chiara quanto precisa.

NOME DEI LUOGHI	Altezza sopra il livello del mare	Altezza media del barometro	Grado di ebollizione dell'acqua
Monte Bianco	4775	0,417	84°
Città di Quito	2908	0,527	90,1
Messico	2277	0,572	92,3
Ospizio del S. Gottardo	2075	0,586	92,9
Brianzone	1360	0,645	95,5
Madrid	608	0,704	97,8
Innspruck	566	0,708	98,0
Monaco	538	0,710	98,1
Ginevra	372	0,725	98,6
Torino (Spec. dell'Accad.)	230	0,738	99,1
Praga	179	0,743	99,3
Lione	162	0,745	99,4
Vienna (Danubio)	155	0,747	99,5
Milano (Giardino botanico)	128	0,748	99,5
Parma	93	0,751	99,6
Parigi (Osser. r. 1.° piano)	65	0,754	99,7
Roma (Campidoglio)	46	0,756	99,8
Berlino	40	0,756	99,8

Ma ognuno sa che la pressione atmosferica non varia solo coll'altezza: altre circostanze concorrono a farla mutare eziandio in un medesimo luogo. Quindi il punto d'ebollizione di uno stesso liquido, propriamente parlando, cangia, anche senza passare da un luogo ad un altro più o meno elevato.

Acqua che bolle nel vuoto. Da qui si cava una regola semplicissima, per far bollire l'acqua od un altro liquido qualunque, ad una temperatura molto più bassa del punto d'ebollizione che ordinariamente gli corrisponde: basta diminuire la pressione che sopporta. Collocando sotto la campana della macchina pneumatica un vasetto riempito d'acqua leggermente scaldata, e praticando il vuoto, il liquido bolle con grande rapidità, quasi che il vaso fosse posto sopra un ardentissimo fuoco. All'intento di sottrarre rapidamente anche il vapore che si produce nel fenomeno, e d'impedire che il vapore stesso, entrando e condensandosi nei condotti della macchina, vi arrechi qualche danno,

Pouillet imaginò un apparecchio apposito per fare l'esperimento descritto. Esso consiste in un cilindro di rame *ab* (fig. 549), ove finiscono i tubi di due bocce, le quali contengono l'acqua da far bollire. In questo cilindro si adatta un recipiente di tela metallica, che viene riempito di calce viva. Poscia, lo si chiude alla parte superiore, mediante un turacciolo a vite *c*, e dal tubo *d* si estrae l'aria. Così il vapore, sviluppato nell'ebollizione dell'acqua, viene assorbito dalla calce. Tale apparato può servire alla congelazione dell'acqua nel vuoto, non adoperando l'acido solforico.

Fig. 549.

Fig. 550.

Lo stesso principio ha suggerito un'altra curiosa esperienza. In un pallone di vetro a lungo collo (fig. 550) si versa una quantità di acqua che ne occupi i due terzi circa; indi lo si pone a fuoco, e quando il liquido è nell'effervescenza dell'ebollizione, si ottura il vaso e lo si capovolge. A questo modo, nella parte superiore dell'apparecchio, viene da principio determinata una rarefazione, ed il liquido pertanto continua a bollire, finchè questo spazio abbia raggiunto il suo massimo di tensione. Allora il fenomeno cessa; ma si riproduce ben tosto, versando acqua fredda o ponendo un pezzo di ghiaccio in cima del pallone; giacchè, diminuendo la tensione dei vapori che occupano lo spazio superiore del vaso (condensandone una parte, ed abbassandone la temperatura), diminuisce la pressione della massa aeriforme sul liquido, e l'ebollizione incomincia di nuovo, perchè i vapori nel seno della massa liquida, avendo ancora la stessa temperatura, godono anche della stessa forza elastica. Ed è, a prima giunta, cosa molto singolare che l'acqua non bolle, se, invece di raffreddare, si riscalda anche al di là di 100° la parte superiore del pallone.

La ragione del fenomeno è evidente: in questo caso la forza espansiva del vapore sovrastante al liquido, invece di diminuire, aumenta. Non conviene però spingere il riscaldamento oltre un certo limite, giacchè si potrebbe determinare la esplosione del vaso.

Pentola di Papin. Se invece si desidera di ritardare l'ebollizione di un liquido, s'intende naturalmente che basterà aumentarne la pressione. Ne abbiamo un esempio nella famosa pentola di Papin. Tale apparato consiste in un vaso cilindrico di bronzo, a pareti molto resistenti, che si espone al fuoco, dopo d'avervi versata una certa quantità di acqua. Il vaso è chiuso, a tenuta d'aria, da un coperchio fermato con una vite di pressione *v* (fig. 551). Così l'acqua può essere scaldata ad una temperatura elevatissima, e tuttavia non bollire, giacchè glielo impediscono i vapori raccolti nella parte superiore del vaso, i quali, non trovando via a sfuggire, aumentano di tensione col crescere della temperatura.

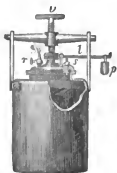



Fig. 551.

Per stabilire poi un limite a cui il liquido abbia pure da bollire, e per essere sicuri che la tensione del vapore interno non abbia da aumentare fino al punto da vincere la tenacità del vaso, e produrne la esplosione, si provvede la pentola della *valvola di sicurezza.* Nel coperchio si fa un piccolo orifizio, e lo si chiude con una valvola *s* premuta da una leva *l*, con più o meno di forza a seconda che il peso *p* è più o meno lontano dal fulcro. Per tale congegno è chiaro che, quando il vapore ha raggiunta la tensione corrispondente alla temperatura a cui vuolsi elevare il liquido, la valvola *s* si alza, il vapore fugge fischiando, l'acqua del vaso bolle, e la temperatura di essa si abbassa fino a 100°, se mantiensi aperto il foro.

Alla pentola descritta si unisce anche un rubinetto *r*, che si apre ogni qualvolta vogliasi sapere a un dipresso la tensione del vapore interno, deducendola dall'altezza a cui sale il getto aeriforme, che esce dal foro del rubinetto. Negli usi domestici s'adoperò per qualche tempo un apparato analogo a quello di Papin, detto *la pentola autoclave* (fig. 552). La bocca è molto più piccola della sezione del vaso, ed ha una forma ovale; ed il coperchio, un po' più grande dell'apertura, ne è applicato contro

Fig. 552.

il labbro dall'interno all'esterno. Questo apparato però, anche munito della valvola di sicurezza, fra le mani degli inesperti, fu causa di molti disastri, e se ne abbandonò generalmente l'uso.

Da quanto ho detto sembrerebbe che, potendosi aumentare indefinitamente la pressione sopra il liquido, si possa impedirne l'ebollizione al di là di qualunque temperatura. Ma non illudetevi: i fatti mostrano che lo stato liquido, almeno in alcuni corpi, ha un limite di temperatura, oltrepassato il quale, il corpo acquista istantaneamente lo stato aeriforme, non ostante qualunque pressione, purchè lo spazio lasciato al fluido non sia piccolissimo. L'etere solforico a 200° si cambia totalmente in vapore, occupando uno spazio meno che doppio del volume primitivo; ed allora esercita contro le pareti del recipiente una pressione di 38 atmosfere. L'acqua può essere mantenuta allo stato liquido fino alla temperatura di 400° circa; ma a temperature sensibilmente maggiori di questa, essa passa in un tratto allo stato aeriforme, ed acquista un volume press'a poco quadruplo di quello che aveva allo stato liquido.

599. **Influenza dell'adesione colla materia del vaso.** Essendo l'adesione del liquido colla materia del vaso una forza che si oppone allo svolgimento dei vapori, è naturale che anche a norma della grandezza di questo ostacolo, si richiederà nel vapore una elasticità più o meno grande onde avvenga il fenomeno, il quale pertanto sarà ritardato in proporzione. L'acqua bolle più tardi in un vaso di vetro che non in uno di metallo; l'acqua distillata, per esempio, alla pressione di $0^m,76$ bolle a 100° in un vaso di rame, ed a 101° in uno di vetro; anzi se le pareti del vaso sono ben pulite, il fenomeno può essere ritardato fino a 105° circa. Si osserva inoltre che, quanto più il liquido tarda a bollire, altrettanto è maggiore l'agitazione che manifesta, quando alla fine bollisce. La ragione di ciò è manifesta: in questo caso le bolle vaporose, acquistando una forza maggiore di quella che hanno allorchè si formano a temperatura più bassa, hanno una più grande ampiezza, e spostano la massa liquida con più di energia.

600. **Sostanze meccanicamente mescolate col liquido.** Le sostanze solide meccanicamente mescolate col liquido non possono ritardarne l'ebollizione, ma valgono ad anticiparla di qualche grado, quando abbiano col liquido medesimo un'adesione minore di quella del liquido verso la materia del vaso, o minore della metà della coesione del liquido stesso. Ed ecco un modo semplicissimo di spiegare la cosa: le piccole masse aeriformi, in contatto della superficie del solido immerso, nella

prima ipotesi hanno da vincere una forza minore di quella che si oppone alle masse aeriformi in contatto delle pareti del vaso, e quindi si svolgeranno prima di queste; e nel secondo caso hanno ancora da superare una forza minore della coesione del liquido con sè stesso, e quindi si svilupperanno avanti che passino allo stato aeriforme altre masse, ravvolte per ogni parte da molecole omogenee. Per ciò, spesse volte, a rendere regolare l'ebollizione, basta introdurre nel vaso di vetro un pezzo di metallo. A questa stessa maniera si spiega lo svolgersi dell'acido carbonico dai vini generosi, quando s'immerge in essi un corpo solido: il gas, intorno alla superficie del solido, trova, nell'adesione del liquido col solido stesso, una forza minore della coesione del liquido, a vincere la quale basta l'elasticità che possiede, epperò non tarda a ripigliare lo stato suo proprio; e così produce quella effervescenza che osserviamo in simili casi, e che cessa al ritirarsi del solido.

Influenza delle sostanze combinate o chimicamente mescolate col liquido. Le sostanze combinate o chimicamente mescolate col liquido posto a bollire, ne ritardano il punto d'ebollizione se sono meno volatili di esso; ed invece lo anticipano nel caso contrario. Com'è naturale, la grandezza dell'effetto è in proporzione della quantità relativa delle sostanze medesime combinate o sciolte nel liquido. Aggiungendo un po' d'acido solforico all'acqua, questa bolle ad una temperatura più elevata dell'ordinaria; ma versandovi dell'alcool la cosa è invertita. I vapori che si formano in simili casi ora sono una mescolanza di quelli dei due liquidi, ed ora sono una vera combinazione chimica, come avviene per alcuni acidi pigliati ad un grado determinato di concentrazione.

Tutti i sali sciolti nell'acqua ne elevano la temperatura d'ebollizione proporzionatamente alla loro quantità; ossia l'acqua che tiene in sè disciolto un sale, bolle ad una temperatura tanto più elevata quanto più vicina è al punto di saturazione. Ma qui non bisogna perdere di vista un fatto prezioso per la scienza, ed è che il vapore sviluppato dalle soluzioni saline è vapore acqueo purissimo, e mostra la temperatura che avrebbe se partisse dall'acqua pura, bollente sotto la medesima pressione. È questo un fatto che si ripete anche nel caso in cui la temperatura d'ebollizione dell'acqua viene alzata per effetto dell'adesione colla materia del vaso; ed in generale è certo che la temperatura, segnata da un termometro semplicemente immerso nel vapore emanante dall'acqua bollente, non dipende che dalla pressione.

Di qui sembra scaturire la curiosa conseguenza che il vapore può essere men caldo dell'acqua bollente che lo produce, e tale

è stata l'opinione dei fisici per alcun tempo; ma da un esame più sottile è poi risultato che questo paradosso era una illusione. In molti casi ci possiamo far ragione del fatto menzionato, se si ammette che il vapore, partendo dal liquido con forza elastica maggiore della pressione a cui è soggetto il liquido stesso, si rarefà, e quindi si raffredda in ordine all'eccesso della temperatura che possedeva. Ma una tale spiegazione non si può dire generale, e d'altronde le esperienze del Belli e del Bellani, confermate da quelle di Regnault, misero in chiaro che qualora si faccia l'esperimento in modo che il vapore non s'abbia a condensare sul termometro, questo indica la temperatura dell'acqua bollente da cui il vapore stesso è nato. Ecco dunque come si può spiegare quel fatto. Il vapore, condensandosi da principio sul termometro, produce acqua pura; quest'acqua, all'intenso caldo del vapore, bollisce alla temperatura che gli corrisponde.

Legrand ha fatto esperienze molto interessanti rispetto al ritardo del punto d'ebollizione dell'acqua satura di un sale, e la tavola seguente contiene i risultati ai quali egli pervenne.

NOME DEL SALE	Punto d'ebolliz. in gr. centigr.	Quantità del sale che satura 100 parti di acqua	NOME DEL SALE	Punto d'ebolliz. in gr. centigr.	Quantità del sale che satura 100 parti di acqua
Clorato di potassa	104°,2	61,	Nitrato di potassa	115°,9	335,1
Cloruro di bario	104,4	60,1	Cloruro di stronzio	117,9	117,5
Carbonato di soda	104,6	48,5	Nitrato di soda	121,0	224,8
Fosfato di soda	106,5	113,2	Acetato di soda	124,37	209,0
Cloruro di potassio	108,3	59,4	Carbonato di potassa	135,0	205,0
Cloruro di sodio	108,4	41,2	Nitrato di calce	151,0	362,2
Idroclorato d'ammoniaca	114,2	588,9	Acetato di potassa	169,0	798,2
			Cloruro di calcio	179,5	325,0
Tartrato di potassa	114,67	296,2	Nitrato d'ammon.^{a}	180,0	inf.

L'aria e gli altri gas sciolti nei liquidi hanno sul loro punto d'ebollizione la stessa influenza delle sostanze più volatili. Le esperienze di Deluc e di Bellani ci assicurano che l'acqua, privata per quanto è possibile dell'aria che contiene, tarda a bollire di 20° circa; e non sappiamo fino a qual grado ne sarebbe protratto il principio del fenomeno, se l'aria vi mancasse affatto. Al principio dell'ebollizione, e durante la medesima, l'acqua perde

continuamente aria, ma non arriva a purgarsi affatto; e d'altronde l'acqua, bollendo d'ordinario in contatto dell'aria libera, nel suo rapido movimento, ne prende, a così dire, e ne involge una porzione; e ciò serve a mantenere invariabile la temperatura della massa. Ma quando l'acqua, per ipotesi, fosse spogliata di tutta l'aria, il calorico, per separare una parte del liquido dalle circostanti, dovrebbe vincere da ogni lato la coesione del liquido, e quindi incontrerebbe una resistenza molto più grande di quella che trova quando solleva un semplice strato superficiale del liquido, e lo spinge in seno ad un prossimo spazietto formato dall'aria, o di qualunque altro gas già separato dall'acqua; insomma la sostanza aeriforme sciolta nell'acqua, separandosi da essa prima della formazione dei vapori acquei, prepara lo spazio ai medesimi e mette il liquido in condizione tale che il calorico più facilmente può vincerne la coesione, perchè, a modo di dire, interrompe la continuità del liquido stesso.

Ciò vale a render conto di un fenomeno a prima vista contraddittorio; ed è che l'acqua, bollente a fuoco attivissimo, si mantiene meno calda (ossia ad una temperatura meno elevata) quando è vicinissima al fuoco stesso che non quando ne viene dilungata per un piccolo tratto. Una spiegazione felice di una cosa in apparenza tanto strana è la seguente. Vicinissima al fuoco bolle rapidamente ed in maniera tumultuosa, e per conseguenza involge una quantità maggiore di aria, la quale mette nelle condizioni di vaporizzare una parte maggiore di liquido, e quindi, essendo più grande il numero delle molecole, che per passare allo stato aeriforme sottraggono calorico alla massa, questa non può che mantenersi ad una temperatura meno elevata. Quando invece l'acqua bollente è allontanata per un tantino dal fuoco, diminuisce la quantità di aria involata dai vortici del liquido, e quindi anche la causa che anticipa il fenomeno.

Questa cosa mi pare che non si debba dimenticare nella spiegazione dei risultati delle esperienze di Dufour. Questo dotto pervenne a mantenere sospesa una sfera d'acqua in un miscuglio di olio e d'essenza di garofano, e riscaldando l'intiera massa portò il liquido interno fino a 178°, e tuttavia, sebbene non fosse cresciuta di un punto la pressione, il liquido non si cambiò in vapore. Qui pare senza dubbio che intervenga a ritardare il punto d'ebollizione l'adesione fra i due liquidi, e fors'anche la coesione, venendo questa forza favorita dalla forma sferica e dalla piccolezza del volume del liquido interno; ma deve influirvi anche la scarsezza dell'aria assorbita dall'acqua nel bollire. Da principio la maggior parte dell'aria deve pure abbandonare l'acqua, pel ca-

lorico che gli viene comunicato; poscia, essendo tranquilla l'ebollizione (perchè il liquido esterno conduce assai lentamente il calorico al liquido interno), l'acqua, bollendo, non può involare che una ben piccola e insensibile quantità d'aria, e per conseguenza l'ebollizione diventa più difficile, e l'acqua può rimanere liquida fino a quella temperatura.

Notiamo qui di passaggio che Dufour ottenne la vaporizzazione della piccola massa d'acqua interna, al di là dei 100°, ma molto prima dei 170°, introducendovi un filo metallico. Ciò deve attribuirsi al diminuire della coesione, venendo modificata la forma sferica della goccia all'istante in cui la si tocca col filo metallico; ma a produrre questo effetto concorre anche l'adesione tra il liquido ed il metallo; e ciò sia a conferma di quanto fu detto.

601. **Rapidità dell'ebollizione.** La quantità di vapore che si forma nell'ebollizione di un liquido, dipende dalla quantità di calorico che una determinata porzione del liquido riceve in un certo tempo. Tale quantità di calorico dipende: 1.° dalla attività del fuoco, che varia secondo la disposizione del fornello, e la natura del combustibile: 2.° dalla natura e dallo spessore delle pareti del vaso che contiene il liquido, giacchè da una sostanza ad un'altra è diverso il potere di condurre il calorico; e 3.° finalmente, la quantità di calorico ricevuta dal liquido, a parità di massa, è proporzionale alla grandezza della superficie liquida esposta all'azione diretta del fuoco.

602. **Stato sferoidale.** Parecchi liquidi, versati sopra una superficie scaldata fino al calor bianco, presentano il fenomeno singolare di non bollire, e di mantenere press'a poco il loro medesimo volume, ad onta dell'altissima temperatura del corpo che li sostiene. Per far l'esperienza con una piccola massa d'acqua, si piglia una capsula di metallo, la si porta allo stato incandescente, e vi si lascia cadere una goccia d'acqua. Ben presto il liquido assume una forma globulare, rimanendo in riposo o rotando rapidamente sopra sè stesso: non bolle, nè cangia sensibilmente di volume. Che se, ritirando la capsula dal fuoco, se ne lascia abbassare la temperatura fino a 150° o 200°, quasi istantaneamente tutta la goccia d'acqua passa allo stato aeriforme. L'acqua però che tien in sè disciolto un alcali, od un sale qualunque, diviene incapace di produrre il fenomeno descritto. Si dice che l'acqua in questa circostanza è allo stato *sferoidale,* in quanto che mostra la forma di uno sferoide. Tutti i liquidi possono prendere come l'acqua lo stato sferoidale, ma a temperature tanto più elevate quanto più alto è il loro punto d'ebollizione. Anche molti corpi che ordinariamente sono solidi, come

l'ambra, lo solfo, molte resine, lo zinco, il bismuto, il piombo, ecc. liquefatti offrono il medesimo fenomeno.

Le proprietà dei liquidi allo stato sferoidale sono due. In primo luogo, essi si mantengono ad una temperatura molto inferiore a quella del metallo rovente, ed anche d'alcuni gradi sotto il loro punto d'ebollizione. L'acqua conserva una temperatura di circa 96°, l'etere solforico di circa 34°, l'acido solforoso di circa — 10°. Ne dobbiamo a Boutigny la prova. Egli versò in un crogiuolo di platino incandescente una goccia d' acido solforoso liquido, il quale ben tosto si ridusse allo stato sferoidale. Allora mise in esso la piccola bolla di un tubo termometrico, contenente un po' d' acqua, e dopo pochi istanti, estratta e rotta la bolla, vi trovò un pezzo di ghiaccio.

In secondo luogo, i liquidi allo stato sferoidale non sono al contatto col metallo rovente sottoposto. Lo stesso Boutigny rese evidente anche questa seconda proprietà dei liquidi allo stato sferoidale, con due bellissime esperienze. Versò un grammo di acqua, colorata in nero, sopra di una piastra d' argento piana, arroventata e posta orizzontalmente. Poscia, quando conobbe che il liquido era allo stato sferoidale, collocò la fiamma di una candela ad una certa distanza nel piano della piastra; vide chiaramente la fiamma tra lo sferoide acqueo tinto in nero e la piastra. Boutigny dimostrò la stessa cosa, portando l'acqua allo stato sferoidale sopra una rete metallica incandescente: l'acqua rimase sulla rete, per tutto il tempo dell'esperimento. Si può anche immergere una massa di rame incandescente (appesa ad un filo metallico) in un vaso pieno d'acqua prossima a bollire; e si osserva che il liquido non tocca la massa metallica, e non bolle fino a che la temperatura del metallo stesso non sia discesa a 140° circa; ma allora l'ebollizione comincia con tanto impeto che il vaso quasi sempre viene spezzato.

A spiegare i fenomeni descritti, si pensa che alla superficie del metallo incandescente si formi uno strato di vapore, il quale ne impedisca il contatto col liquido, e quindi anche il riscaldamento del liquido stesso; giacchè, non potendo questo ricevere calorico che per raggiamento, o per contatto del suo vapore, non si può scaldare di molto, specialmente se nello stesso tempo si raffredda per l'evaporazione, che pur deve avvenire alla superficie di esso. La forza colla quale lo strato di vapore, che riveste il metallo incandescente, tien da questo lontano il liquido, sarebbe, secondo Boutigny, tanto più intensa quanto più elevata è la temperatura. Ciò concorda coll'esperimento di Perkins, il quale, avendo aperto un foro, munito di tubo, nella caldaja di una macchina a va-

pore, al dissotto del livello dell'acqua, osservò che il liquido non effluiva dal tubo, quando le pareti di esse erano calde a temperatura elevatissima, benchè la pressione interna fosse considerevole; e solo ad una temperatura più bassa ottenne un getto fortissimo di acqua.

Un fenomeno assai strano, che dipende dallo stesso principio, e fu osservato per la prima volta dal Boutigny, è che, bagnando una mano coll'etere solforico, si può con essa rimescolare una massa fusa di ghisa, di bronzo o di piombo, senza la minima offesa, se pure si ha la cautela di operare con prontezza, ma senza soverchia rapidità: con prontezza, perchè, sebbene lo strato di vapore che si forma intorno alla mano ne impedisca il contatto col liquido, pure nel caso non impedisce la trasmissione del calorico per raggiamento; ma senza soverchia rapidità, perchè lo strato di vapore, qualora fosse agitato troppo violentemente, sfuggirebbe, permettendo il contatto della mano colla massa bollente.

605. **Liquefazione dei vapori**. Abbiam già detto che, esercitando sopra uno spazio saturo di vapori una pressione sufficiente per diminuirne le dimensioni, parte del vapore passa allo stato liquido. Si ottiene lo stesso effetto abbassandone la temperatura. È quasi inutile l'avvertire che, se il vapore non è al suo massimo di tensione, non si ridurrà allo stato liquido prima di raggiungere questo punto. Le sostanze che ordinariamente sono allo stato gasoso, si debbono considerare come vapori lontani dal loro massimo di tensione. Epperò, è naturale che queste potranno essere parimenti liquefatte, quando l'arte sappia portarle fino a questo limite per mezzo di un raffreddamento sufficiente o di una grande compressione, od anche con ambedue questi processi. Alcuni gas possono essere condensati facilmente, come l'acido solforoso che a — 10°, sotto la pressione di 76 centimetri, passa allo stato liquido; ma altri od esigono un notevolissimo raffreddamento, accompagnato eziandio da forte pressione, od anche resistono, senza liquefarsi, a tutti i mezzi che la scienza possiede attualmente per ottenere questo effetto. Già conoscete il processo seguito per liquefare l'acido carbonico (320), e le temperature a cui bisogna abbassarlo sotto le diverse pressioni. Allo stesso modo, a 10° si può aver liquido il protossido d'azoto sotto la pressione di 43 atmosfere, il gas ammoniaco di 5 e l'acido solforoso di 2 e $^1/_2$. L'acido ipoazotico può essere considerato come al limite delle sostanze liquide e delle gasose, alla temperatura ordinaria, giacchè passa allo stato liquido a + 28°.

Cinque soli sono, come sapete, i gas perfetti, ossia quelli che si mantengono tali anche quando sono raffreddati e compressi ai massimi limiti artificiali, e sono: l'ossigeno, l'azoto, l'idrogeno, l'ossido di carbonio ed il biossido d'azoto. L'ossigeno e l'idrogeno vennero sottoposti ad una pressione di 27 atmosfere, l'ossido di carbonio ad una pressione di 40 atmosfere e l'azoto ed il biossido d'azoto di 50 atmosfere, mentre la temperatura era in ogni caso di — 110°; eppure non diedero indizio di liquefazione.

L'affinità chimica può produrre parimenti la liquefazione dei vapori, ed a differenza dei due mezzi accennati, anche dei vapori i più lontani dal punto di saturazione. Così un gran numero di sali assorbono il vapore acqueo dell'atmosfera, e lo condensano, sebbene non si trovi al massimo di tensione.

Calorico emesso nella liquefazione dei vapori. Quando i fluidi aeriformi si cambiano in liquidi, o si condensano, vi si nota un fenomeno similissimo alla solidificazione dei liquidi; cioè ogni fluido aeriforme si condensa ad una temperatura particolare, generalmente diversa per vapori diversi, variabile a seconda della pressione, ma costante ad invariabili circostanze, e tale per tutto il tempo della condensazione; giacchè tutto il calorico assorbito nel passaggio del corpo dallo stato liquido al gasoso, viene nuovamente emesso nel ritorno di esso da questo al primo stato. È questa una conseguenza necessaria di quanto si disse circa l'effetto del calorico sullo stato dei corpi.

L'economia domestica trae spesso profitto da questo calorico emesso dai vapori che si condensano, sia per scaldare tutte le parti di un grande edificio, sia per scaldare un liquido, con poca spesa e con molta prontezza e regolarità. Si fa bollire l'acqua in una sola caldaja, dalla quale partono varj tubi di sostanza conduttrice del calorico, e si diramano per le varie camere dell'edificio, o serpeggiano entro il liquido da scaldare. Nella trattura della seta si usa questo metodo per scaldare l'acqua delle catinelle ove stanno i bozzoli; e nelle fabbriche di carta a macchina si rende liscia e si dissecca la carta, col farla passare per un laminatojo, i cui cilindri sono cavi, e ricevono continuamente vapore che si condensa nella cavità di essi.

604. **Calorimetria**. Ora siamo in grado di intendere pienamente come i dotti abbiano fatto a misurare le calorie di temperatura, di fusione e di vaporizzazione.

Misura delle calorie di temperatura o dei calorici specifici. Per sapere le calorie di temperatura, i fisici hanno seguiti specialmente tre metodi. Il primo dicesi *delle mescolanze*, e venne ima-

ginato da Black, Wilcke e Crawfort. In un vaso (fig. 553), collocato sopra una base poco conduttrice del calorico, fatta con tre pezzi di sovero, si versa un noto peso p di acqua, a bassa temperatura t; la si rimescola per mezzo di due agitatori g, e si tien conto della temperatura indicata dal termometro che vi è posto dentro. In appresso, si mette il corpo, che per ora supponiamo solido, di cui vuolsi conoscere il peso specifico, in un cestello metallico a fili sottilissimi, e lo si immerge in una corrente di vapore caldo, di cui se ne osserva la temperatura t'. Dopo ciò, lo si porta, sorreggendolo allo stesso modo, nell'acqua del vaso. Nessuno dubita, che in capo ad alcuni momenti, il solido avrà perduta una certa quantità di calorico, l'acqua ed il vaso ne avranno acquistato, e la temperatura della mescolanza diverrà ben presto stazionaria ed eguale a T. Per dedurre da questo fatto il calorico specifico x del corpo in questione, conviene premettere: 1.° che per trovare le calorie che scaldano di un numero determinato di gradi una nota massa d'acqua, basta moltiplicarne il peso pei gradi di cui ne fu elevata la temperatura (534); 2.° che per sapere il numero delle calorie che alzano la temperatura di un corpo per una certa quantità, bisogna moltiplicarne il peso per l'aumento di temperatura e pel calorico specifico. Ciò posto, il numero delle calorie che scaldano l'acqua per $(T - t)^{o}$, sarà $p\,(T - t)$; e chiamando y il calorico specifico del vaso, p' il peso di esso e P quello del solido immerso, sarà: $yp'\,(T - t)$ il numero delle calorie comunicate al vaso, ed $x\mathrm{P}\,(t' - T)$ il numero di quelle perdute dal solido nel raffreddarsi di $(t' - T)^{o}$, ossia nel passare da t'^{o} a T^{o}. Riflettendo che l'acqua ed il vaso guadagnano una quantità di calorico eguale a quella perduta dall'altro corpo, abbiamo evidentemente: $x\mathrm{P}\,(t' - T) = p\,(T - t) + yp'\,(T - t) = (T - t)\,(p + yp')$, da cui si ottiene $x = \frac{(T - t)\,(p + yp')}{\mathrm{P}\,(t' - T)}$. Qualora il valore di y non fosse noto, basterebbe ripetere l'operazione con un pezzo P della sostanza di cui è formato il vaso. Allora x ed y rappresentano una sola quantità, e la formola precedente diviene $x = \frac{p\,(T - t)}{\mathrm{P}\,(t' - T) - p'\,(T - t)}$.

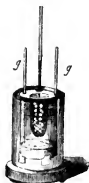



Fig. 553

Il metodo descritto serve anche a trovare il calorico specifico di un liquido. Quando però il liquido eserciti un'azione chimica sull'acqua, bisogna chiuderlo in un vaso di vetro o di metallo,

di cui si conosca il calorico specifico ed il peso; ed allora, al primo membro dell' equazione conviene aggiungere anche la quantità di calorico ceduto da questo vaso. Si fa lo stesso, quando il corpo cimentato, essendo pure solido, è però capace di agire chimicamente sull'acqua.

Un'altra cautela d'aversi nell'esperienza è quella d'impedire che, durante l'operazione, i corpi esterni sottraggano o comunichino calorico all'apparecchio ed ai corpi contenutivi. Per raggiungere questo intento, nella maniera la più facile e sufficientemente esatta, basta mantenere l'acqua ad una temperatura iniziale di 5° o 6° al dissotto della temperatura dell'ambiente, e dare alle masse dell'acqua e del corpo da cimentarsi un rapporto tale che la temperatura finale si trovi di 5° o 6° al dissopra della temperatura dell'ambiente. In questo caso, avendo cura di agire rapidamente, il vaso riceve nella prima metà dell'esperienza una quantità di calorico prossimamente eguale a quella che perde nell'altra metà, sicchè havvi una approssimativa compensazione.

Il *secondo metodo*, che serve a misurare il calorico specifico di un sostanza, è quello della *fusione del ghiaccio*, e dipende dal principio, trovato esperimentalmente, che le calorie di fusione di un chilogrammo di ghiaccio sono 79,25. L'apparato che si adopera in questo caso è il calorimetro di Lavoisier e Laplace (fig. 507), già da noi descritto al n. 544. Innanzi tutto, si determina il peso P del corpo da sottoporre all'esperimento; poscia lo si scalda ad una nota temperatura T, e dopo ciò lo si porta prestamente nell'inviluppo centrale del calorimetro, già riempito di ghiaccio nei due altri compartimenti. Si raccoglie l'acqua che esce dal secondo compartimento, ossia dal tubo verticale, e, quando sia cessato lo scolo, la si pesa. Supponendo che il peso trovato sia p, espresso in chilogrammi, è chiaro che sono state impiegate $79,25 . p$ calorie per fondere il ghiaccio del secondo vaso. Ma questa quantità di calorico è eguale a quella che il corpo interno ha ceduto per passare dalla temperatura T° a 0°, cioè a PxT. Dunque avremo $PxT = 79,25p$; da cui si ottiene: $x = \frac{79,25p}{PT}$.

I due metodi, che vi ho fatto conoscere per trovare le calorie di temperatura dei corpi, non si possono applicare che alle grandi masse. Havvene un terzo, detto *di raffreddamento*, che serve per determinare il calorico specifico di quei corpi, dei quali non se ne possiede che una piccola quantità. Ma questo metodo suppone altre notizie, che finora non avete, e per ora non posso parlarvene.

605. **Misura delle calorie di fusione**. Con esperienze somiglianti a quelle or ora descritte, i fisici hanno determinato eziandio il calorico che occorre per fondere le diverse sostanze. Black ha adoperato il metodo delle mescolanze per conoscere le calorie di fusione del ghiaccio, ponendo un noto peso di questo corpo in una quantità determinata di acqua, a temperatura conosciuta, ed osservando la temperatura finale della mescolanza. Se chiamasi P il peso del ghiaccio a 0^{o}, p il peso dell' acqua calda a t^{o}, abbastanza per fondere tutto il ghiaccio, T la temperatura finale della mescolanza, ed x le calorie di fusione del ghiaccio, l' acqua avrà ceduto in fin dei conti una quantità di calorico $p\ (t - \mathrm{T})$, ed il ghiaccio per fondersi avrà assorbito il calorico $\mathrm{P}x$, e per scaldarsi da 0^{o} a T^{o}, avrà acquistata una porzione di calorico eguale a PT; quindi avremo $\mathrm{P}x + \mathrm{PT} = p\ (t - \mathrm{T})$; da cui si ottiene $x = \frac{p\ (t - \mathrm{T}) - \mathrm{PT}}{\mathrm{P}}$.

Ma, come ognuno può accorgersi, questo processo non serve che pel caso in cui si tratti del ghiaccio o di corpi che si fondono a bassa temperatura. Altri esperimentatori pertanto, per far uso del metodo delle mescolanze, approfittano del principio che, quando un corpo liquido passa allo stato solido, sviluppa una quantità di calorico rigorosamente eguale a quella assorbita nella fusione. Non è difficile seguirne il processo. Si fonde un peso P del corpo dato da cimentare, e dopo di averne conosciuta la temperatura t', lo si versa in una massa d'acqua di cui sia noto il peso p e la temperatura t. Ciò posto, si rappresenti con c il calorico specifico del corpo, di cui si cercano le calorie x di fusione, e si chiami T la temperatura finale della mescolanza. È cosa manifesta che la massa d'acqua, per scaldarsi da t^{o} a T^{o}, acquistò una quantità di calorico espressa da $p\ (\mathrm{T} - t)$; mentre la massa del corpo nel raffreddarsi da t'^{o} a T^{o} ha ceduto una porzione di calorico $\mathrm{P}c\ (t' - \mathrm{T})$, e solidificandosi ha sviluppato tanto calorico quanto è rappresentato da $\mathrm{P}x$. Si ha quindi l'equazione $\mathrm{P}c\ (t' - \mathrm{T}) + \mathrm{P}x = p\ (\mathrm{T} - t)$; da cui si ottiene:
$x = \frac{p\ (\mathrm{T} - t) - \mathrm{P}c\ (t' - \mathrm{T})}{\mathrm{P}}$.

Lavoisier e Laplace si servirono del loro calorimetro, anche per stabilire le calorie di fusione, sia del ghiaccio, sia degli altri corpi. Il processo è facile imaginarlo, ed il calcolo si fa come sopra.

606. **Misura delle calorie di vaporizzazione.** Venendo ora alla misura delle calorie di vaporizzazione, è bene che sappiate come Black abbia fatto pel primo alcune esperienze, onde

determinare direttamente il calorico assorbito da un liquido che vaporizza. Ma ordinariamente si adotta l'altro metodo più facile, di computare il calorico fatto libero nella liquefazione del vapore. L'apparecchio che serve in questo caso risulta da una pentola A (fig. 554), ove si sviluppa il vapore, e da un vaso *b*, di

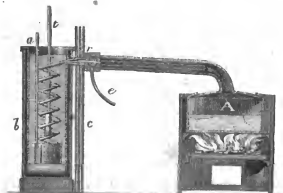



Fig. 554.

rame sottile, che lo riceve. Il vapore dalla pentola entra in un tubo, che nel vaso *b* pieno d'acqua (la cui temperatura è indicata dal termometro *t*) si piega e ripiega più volte sopra sè stesso; qui si condensa, e l'acqua prodotta si raccoglie in un piccolo serbatojo, messo in comunicazione coll'aria esterna, per mezzo di un tubo verticale *a*. Onde il fornello non comunichi direttamente calorico al vaso *b*, si comincia dal collocar quest'ultimo ad una notevole distanza dal primo, e poi lo si difende con un sistema *c* di tre lamine di metallo, separate da uno strato d'aria. All'intento poi d'impedire che il vapore trascini seco nel serpentino qualche goccia di liquido, come avviene quasi sempre al primo formarsi della corrente gasosa, si unisce al tubo di comunicazione un rubinetto *r* a due luci, il quale, girato in un verso, introduce il vapore nel tubo laterale *e*, da cui effluisce all'esterno, e mosso in un altro lo invia al serpentino. Si rimedia pertanto all'inconveniente menzionato, tenendo il rubinetto nella prima posizione fino a che l'ebollizione sia bene avviata, ed il tubo riscaldato abbastanza; poscia lo si mette nella seconda, e s'incomincia l'osservazione. Appena è necessario soggiungere che anche in questo caso conviene porre il vaso *b* sopra una base di sovero, cominciare l'esperienza quando l'acqua del vaso stesso è a 5° o 6° al dissotto della temperatura dell'ambiente,

e terminarla allorchè arriva a 5° o 6° al dissopra della temperatura stessa.

Volendo ora passare dall'esperienza al calcolo, abbiamo a tenere una via poco diversa da quella che già conoscete. Supponiamo che P sia il peso del vapore condensato, t' sia la temperatura di esso all'istante in cui entra nel serpentino; rappresentiamo con x le calorie di vaporizzazione che gli corrispondono, con p la somma del peso dell'acqua nel condensatore, e dei pesi del serpentino, del termometro e dell'agitatore, moltiplicati pei rispettivi calorici specifici; e diciamo t la temperatura primitiva, e T la temperatura finale dell'acqua stessa. Chicchessia ravvisa a colpo d'occhio che il calorico acquistato da p, passando da $t°$ a T°, è p (T — t); e quello ceduto da P nella condensazione è Px; ma non si deve dimenticare che P, raffreddandosi da $t'°$ a T°, ha perduto anche un'altra porzione di calorico rappresentata da P (t' — T). Avrem dunque l'equazione $Px + P(t' - T) = p(T - t)$; da cui si deduce $x = \frac{p(T - t) - P(t' - T)}{P}$.

607. **Calcolo dello zero assoluto di temperatura.** Dopo quanto abbiam detto, possiamo formarci una idea dello zero assoluto di temperatura. Clement e Desormes fissarono lo zero assoluto di temperatura a — 273°, assumendo per misura del movimento termico il coefficiente di dilatazione dei gas. Sapendosi che la dilatazione ed il restringimento dei gas è di 0,003665, ossia di $^1/_{273}$ del loro volume per ogni grado centigrado di temperatura, parve ai due fisici menzionati che, abbassando la temperatura dei gas fino a — 273°, la loro contrazione dovrebbe essere eguale al volume, cioè questo volume non esisterebbe più, e il movimento termico del corpo sarebbe nullo. A conferma di tale supposto si addusse che a + 273° il volume di esso diventa doppio, e per conseguenza parve manifesto che il calorico comunicato al corpo, per portarlo da 0° a 273°, fosse eguale a quello posseduto dal corpo a 0°, e quindi che — 273° fosse lo zero assoluto. I fisici, non badando molto al ragionamento precedente, ne ammisero però la conseguenza, ed adottarono almeno come probabile che lo zero assoluto non si discosti gran fatto da — 270°. Ma recentemente Babinet (*Comp. Rend.*, 8 ottobre 1866) discusse di nuovo questa curiosa questione, ed i risultati ai quali pervenne differiscono molto dalle idee avute finora circa tale materia. Egli, innanzi tutto, osserva che la riduzione di un corpo allo zero assoluto non ha per conseguenza l'annullamento del volume di esso. Poscia, partendo dal principio che una molecola d'acqua, quando passa allo stato

aeriforme, si bipartisca (perchè 2 volumi d'idrogeno ed 1 d'ossigeno formano 2 volumi di vapor acqueo), ammette che la forza viva di questa molecola, nel fenomeno stesso, si riduca alla metà; e da ciò deduce la conseguenza che, onde una molecola d'acqua dallo stato liquido a 0° passi allo stato aeriforme parimenti a 0°, conviene comunicargli una quantità di forza viva eguale alla metà di quella che possiede in quel primo stato. Essendo poi confermato dalle esperienze di Regnault che le unità di calorico necessarie a produrre questo cambiamento in una molecola d'acqua sono circa 607, appare che la forza viva totale di una molecola d'acqua a 0° sarà 2 × 607, ossia 1214 unità di calorico; e quindi che questa molecola sarà ridotta allo zero assoluto, qualora gli vengano tolte queste 1214 unità di calorico, ossia 1214 volte la quantità di calorico che basta ad elevarne la temperatura da 0° ad 1°. Lo zero assoluto, secondo le idee di Babinet, sarebbe dunque a — 1200° circa.

ARTICOLO SESTO

TENSIONE, DENSITÀ ED APPLICAZIONI DEI VAPORI.

608. **Esperienze di Gay-Lussac alla tensione del vapore acqueo a temperature sotto 0°.** Dopo d'aver conosciuto come nascano i vapori, è naturale fermarci un istante a studiare la loro tensione e densità, per vedere poi come l'uomo abbia saputo volgere in proprio beneficio una forza tanto poderosa, e cavarne infinite applicazioni utilissime.

Fig. 555.

Una schiera pressochè innumerevole di esperimentatori adoprossi a svolgere il problema circa l'influenza della temperatura sulla tensione dei vapori d'acqua. Gay-Lussac misurò le tensioni di questi vapori a basse temperature. Egli introdusse un po' d'acqua in un tubo barometrico ricurvo (fig. 555). L'estremità dello spazio vuoto era immersa in una mescolanza refrigerante; sicchè il vapore acquistava la tensione corrispondente alla temperatura della medesima mescolanza. Accanto al barometro ricurvo ve n'era un altro rettilineo, che serviva a mostrare la tensione del vapore nel primo. Con questo processo Gay-Lussac trovò che, anche a temperature di più gradi

sotto zero, la colonna mercuriale, nel barometro curvo, era depressa al dissotto del livello del liquido nell' altro barometro, e potè constatare che

a	0°	la differenza delle due superficie liquide è di			mill.	4,60
» —	5°	»	»	»	»	3,00
» —	10°	»	»	»	»	1,96
» —	15°	»	»	»	»	1,28
» —	20°	»	»	»	»	0,84
» —	25°	»	»	»	»	0,55
» —	30°	»	»	»	»	0,36

609. **Esperienze sulla tensione del vapore acqueo alle temperature da 0° a 100°.** Relativamente alla tensione del vapore acqueo scaldato fra 0° e 100°, sono interessantissime le esperienze di Regnault e Dalton. Questi mise due tubi barometrici A e B (fig. 556) in un catino di ghisa, pieno di mercurio, e collocato sopra un fornello; li circondò con un tubo più grande di vetro, che fece pescare nel mercurio stesso e riempì di acqua. Ebbe cura di estrarre dal barometro B tutta l'aria e l'umidità, e nel barometro A introdusse una piccola goccia d'acqua. Nel seno dell'acqua del vaso esterno appese un termometro T, onde saperne la temperatura. Così disposte le cose, Dalton scaldò gradatamente l'acqua del vaso, e per conseguenza anche il vapore che trovavasi nel tubo A, il quale doveva pertanto crescere di tensione coll'elevarsi della temperatura, e deprimere in proporzione il mercurio del barometro medesimo. Osservando, ad ogni grado di riscaldamento, la differenza di livello nel mercurio dei due tubi barometrici, Dalton costrusse pel primo una tavola delle forze elastiche del vapore acqueo da 0° fino a 100°. A prima giunta potrebbe recare difficoltà il sapere che nel vuoto barometrico, all'elevarsi della temperatura, si sviluppano anche i vapori del mercurio; ma le esperienze di Avogadro provano che la tensione dei vapori mercuriali, alle temperature inferiori a 100°, è tanto debole che può essere trascurata senza errore.

Fig. 556.

Il Regnault, riflettendo che il metodo descritto non conduceva a conseguenze certissime, perchè l'acqua del vaso cilin-

drico, non potendosi rimescolare bene, non aveva una temperatura eguale in tutta la sua altezza, pensò di sostituire al vaso cilindrico una cassa di lamiera di ferro, attraversata sul fondo da due tubulature, nelle quali fermava i due tubi A e B. Una lastra di cristallo, incastonata nelle pareti della cassa, permetteva di osservare la differenza di livello del mercurio nei due tubi, e la temperatura indicata dal termometro.

I risultati di queste esperienze vi sono esposti nella tavola seguente.

Temperatura	Forza elastica	Temperatura	Forza elastica	Temperatura	Forza elastica	Temperatura	Forza elastica
—32°	0^{mm},310	1°	4^{mm}.940	34°	39^{mm},565	67°	204^{mm},376
—31	0,336	2	5,302	35	41,827	68	213,596
—30	0,365	3	5,687	36	44,201	69	223,165
—29	0,397	4	6.097	37	46,691	70	233,093
—28	0.431	5	6,534	38	49,302	71	243,393
—27	0,468	6	6,998	39	52,039	72	254,073
—26	0,509	7	7,492	40	54.906	73	265,147
—25	0,553	8	8.017	41	57,910	74	276,624
—24	0,602	9	8,574	42	61,055	75	288,517
—23	0 654	10	9,165	43	64,346	76	300,838
—22	0,711	11	9,792	44	67,790	77	313,600
—21	0,774	12	10,457	45	71,391	78	326,811
—20	0,841	13	11.162	46	75,158	79	340,488
—19	0,916	14	11,908	47	79,093	80	354,643
—18	0,996	15	12,699	48	83,204	81	369,287
—17	1,084	16	13,536	49	87,499	82	384,435
—16	1,179	17	14,421	50	91,982	83	400,101
—15	1,284	18	15,357	51	96,661	84	416,298
—14	1,398	19	16,346	52	101,543	85	433,041
—13	1,521	20	17,391	53	106,636	86	450,344
—12	1,656	21	18,495	54	111,945	87	468,221
—11	1,803	22	19,659	55	117,478	88	486,687
—10	1,965	23	20,888	56	123,244	89	505,759
— 9	2,137	24	22,184	57	129,251	90	525,450
— 8	2,327	25	23,550	58	135,505	91	545,778
— 7	2,533	26	24,988	59	142,015	92	566,757
— 6	2,758	27	26,505	60	148,791	93	588,406
— 5	3,004	28	28.101	61	155,839	94	610,740
— 4	3,271	29	29,782	62	163,170	95	633 778
— 3	3,555	30	31,548	63	170,791	96	657,535
— 2	3,879	31	33,406	64	178,714	97	682,029
— 1	4,224	32	35,359	65	186,945	98	707,280
— 0	4.600	33	37,411	66	195,496	99	733,305
						100	760,000

610. **Esperienze di Dulong ed Arago fino a 25 atmosfere**. La tensione del vapore acqueo al dissopra di 100°, e proprio fino a 2500°, venne trovata esperimentalmente da Dulong ed Arago nel 1830. L'apparecchio che servì a questi pazienti esperimentatori, risultava da una caldaja di rame K (fig. 557),

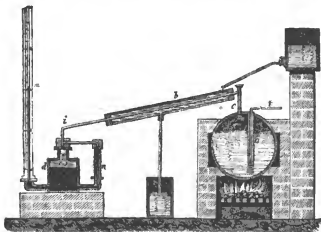



Fig. 557.

capace di 80 litri, disposta sopra un fornello, ed a pareti assai robuste. In queste erano saldamente fissate due canne di fucile, come *a*, che, chiuse alle loro inferiori estremità, e piene di mercurio, s'immergevano nell'acqua della caldaja. Nel liquido d'ognuna delle due canne pescava un termometro *t*, onde conoscere la temperatura dell'acqua e del vapore nell'interno della caldaja. La parte superiore della caldaja portava una canna verticale *c*, unita ad un tubo *i*, che comunicava con un vaso *d* di ghisa, quasi totalmente riempito di mercurio. Il tubo e la parte superiore del vaso *d* erano pieni d'acqua, costantemente mantenuta a bassa temperatura da una corrente d'acqua fredda, che effluiva da un serbatojo più alto, e passava in un recipiente posto al basso. Per compiere la descrizione dell'apparato di Dulong ed Arago, ci resta a dire di un'altra particolarità. Ad un lato del vaso *d* era unito un manometro *m*, ad aria compressa, graduato prima esperimentalmente; ed all'altro lato comunicava per le due estremità con un tubo di cristallo *n*, dove il mercurio si disponeva naturalmente ad un'altezza eguale a quella che aveva nel vaso. Ciò posto, è chiaro che, accendendo fuoco

sotto la caldaja, il vapore, aumentando di tensione ed uscendo pel tubo *c*, veniva a premere contro l'acqua del tubo *i*, e per conseguenza eziandio contro l'acqua ed il mercurio del vaso *d*, il quale pertanto doveva elevarsi nel manometro. Dulong ed Arago, segnando di grado in grado le temperature manifestate dai termometri, ed osservando le indicazioni del manometro, hanno misurato la tensione del vapore acqueo fino a 25 atmosfere, calcolando in seguito le altre fino a 50 atmosfere, quali vi sono qui offerte.

Pressione		Temperatura	Pressione		Temperatura
In atmosfere	a colonna di mercurio a 0°		In atmosfere	a colonna di mercurio a 0°	
1	0m,76	100°	13	9m,88	193°,70
1,5	1,14	112,2	14	10,64	197,19
2	1,52	121,4	15	11,40	200,48
2,5	1,90	128,8	16	12,16	203,60
3	2,28	135,1	17	12.92	206,57
3,5	2,66	140,5	18	13,68	209,40
4	3,04	145,4	19	14,44	212,10
4,5	3,42	149,06	20	15,20	214,70
5	3.80	153,08	21	15,96	217,20
5.5	4,18	156,80	22	16,72	219.60
6	4,56	160.20	23	17,48	221,90
6,5	4,94	163,48	24	18,24	224,20
7	5,32	166,50	25	19,00	226,30
7,5	5.70	169,37	30	22,80	236,20
8	6,08	172,10	35	26,60	244,85
9	6,84	177,10	40	30,40	252,55
10	7,60	181,60	45	34,20	259,52
11	8,36	186,03	50	38,00	265,89
12	9,12	190,00			

611. **Esperienze di Regnault**. Anche Regnault misurò le tensioni del vapore acqueo al dissopra di 100°, ed imaginò un apparato, che può servire eziandio nel caso in cui si tratti di sapere la tensione del vapore stesso a temperature più basse. Tale strumento consiste in una caldaja di rame C (fig. 558), che, per mezzo di un tubo obliquo AB, comunica con un pallone M, capace di 24 litri, e posto nel recipiente K. Questo vaso contiene acqua alla temperatura dell'ambiente, ed il tubo obliquo AB è circondato da un secondo tubo, in cui scorre acqua fredda, che proviene

dal serbatojo E, ed esce dal rubinetto D. Alla parte superiore del pallone sono applicati due tubi: l'uno dei quali si unisce ad un manometro O ad aria libera, e l'altro HH' vien messo in comunicazione di una macchina pneumatica o di una tromba premente, a seconda che si vuol rarefare l'aria nel pallone, ovvero comprimervela. La temperatura dell'acqua nella caldaja C viene indicata da quattro termometri, posti in tubi di ferro pieni di mercurio. Due di questi tubi si abbassano nell'acqua bollente, e gli altri due non arrivano che al vapore. Dopo ciò, ognuno indovina l'uso di questo apparato. Trattandosi di misurare la forza elastica del vapore acqueo al dissopra di 100°, si comprime l'aria nel pallone M, e per conseguenza anche nella caldaja, sicchè si ritarda l'ebollizione dell'acqua che vi è contenuta; e basta osservare i termometri dell'apparecchio in confronto al manometro O.

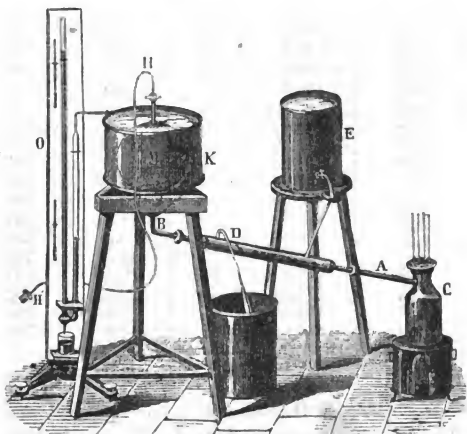



Fig. 558.

612. **Legge di Dalton sulla tensione dei vapori degli altri liquidi**. Dal fatto che al punto di ebollizione, a parità di pressione, tutti i vapori debbono avere una forza elastica eguale, Dalton dedusse una bella legge, ed è questa: che le tensioni di due vapori sono eguali a temperature che diffe-

riscono tra loro come i punti di ebollizione dei liquidi, dai quali sono partiti. Così, per esempio, l'acqua bolle a 100°, e l'alcool a 78°, ossia il punto d'ebollizione dell'acqua è superiore di 22° a quello dell'alcool; dunque le tensioni dei vapori di questi due liquidi saranno eguali ogniqualvolta la temperatura del primo superi di 22° quella del secondo. Questa legge di Dalton è senza dubbio importantissima; ma dobbiamo pure confessare che molte e delicatissime osservazioni hanno mostrato come essa, a notevoli distanze dal punto di ebollizione, si scosta sensibilmente dal vero; e quindi, se è comodo seguirla allorchè ci accontentiamo dell'approssimazione, conviene abbandonarla quando si desidera l'esattezza. In questo caso vi potrà forse giovare la tavola posta qui sotto, compilata da Regnault.

Temperatura	Alcool	Etere	Solfuro di carbonio	Cloroformio	Benzina	Essenza di trementina
— 20°	3mm,3	67mm,5	45mm,5		4mm,9	
— 10	6,6	113,3	81,0		13,4	
0	12,8	183,3	132,0		26,6	2mm,1
+ 10	24,3	286,4	203,0		46,6	2,9
20	44,5	433,3	301,8	160mm,5	76,3	4,4
40	133,6	909,6	617,0	366,2	182,3	10,8
60	350,3	1728,5	1163,7	751,0	388,6	26,5
80	812,7	3024,4	2033,8	1404,6	756,6	61,3
100	1694,9	4950,8	3329,5	2426,5	1352,3	131,1
120	3219,7	7702,2	5145,4	3916,2	2256,3	257,2
140	5637,0		7336,9	5965,7	3537,0	464,0
150	7258,7			7226,49	4356,7	605,2

Gas liquefatti				Mercurio			
Temperatura	Acido solforoso	Ammoniaca	Acido solfidrico	Temperatura	Tensione	Temperatura	Tensione
—78°,2		157mm,9	441mm,4	0°	0mm,0200	120°	1mm,534
— 40		528,6	»	10	0,0268	150	4,266
— 30		876,6	2808,6	20	0,0372	180	11,00
— 20	479mm,5	1397,7	4273,0	30	0,0530	200	19,90
— 10	762,5	2149,5	5945,0	40	0,0767	250	75,75
0	1165,1	3162,9	7709,3	50	0,1120	300	242,1
+ 10	1719,5	4612,2		60	0,1643	350	663,2
20	2462,0	6467,0		70	0,2410	400	1587,9
30	3431,8	8832,2		80	0,3528	450	3384,3
40	4670,2	11676,4		90	0,5142	500	6520,2
50	6220,0			100	0,7455	520	8264,9

613. **Densità dei vapori**. Dallo studio della tensione dei vapori si passa naturalmente a parlare della loro densità. Già sapete che per densità di un vapore s'intende il rapporto tra il peso d'un certo volume di questo vapore alla tensione massima, e quello di un egual volume d'aria alla stessa temperatura ed alla medesima pressione; ossia, rappresentando con P il peso d'un determinato volume di vapore acqueo, alla tensione massima, e con p il peso di un egual volume d'aria pigliato a condizioni identiche di temperatura e di pressione, e chiamando D la densità del vapore, sarà $D = \frac{P}{p}$.

La densità dei vapori può variare fra limiti lontanissimi, secondo la temperatura ed il grado di tensione che posseggono: crescendo la temperatura, cresce parimenti la densità del vapore che satura uno spazio determinato; ed a temperature elevatissime, come già osservammo (598), e come dimostrò esperimentalmente Cagniard, il vapore acqueo e qualche altro possono ridursi in uno spazio poco superiore al volume del liquido stesso, da cui sono nati. Volendo innanzi tutto conoscere come si determini la densità dei vapori, esporremo il metodo di Gay-Lussac, che fra tutti i metodi usati a questo intento ci pare uno dei più semplici ed abbastanza esatti. Or bene sappiate che Gay-Lussac misurava direttamente il peso, il volume, la temperatura e la tensione d'una quantità del vapore dato, e poscia calcolava il peso di un egual volume d'aria, alla stessa temperatura ed alla medesima pressione. L'apparecchio adoperato da questo dotto è di facile costruzione: consiste in una pentola di ghisa (fig. 559) piena di mercurio, e messa sopra un fornello; in un tubo b di vetro, aperto ad ambedue gli estremi e tuffato nel liquido della pentola; e finalmente in una campanella a, graduata e capovolta nella pentola stessa, dopo di esser stata riempita di mercurio. In questa campanella è introdotta una piccola e fragilissima bolla di vetro, che contiene un peso determinato di acqua, spoglia d'aria, e sale naturalmente al dissopra del mercurio. Quando vogliasi ripetere l'esperienza di Gay-Lussac, si versa acqua nel tubo di vetro, fino a passare la sommità della campanella, e si scaldano i liquidi dell'apparecchio, per alcuni gradi al dissopra del punto d'ebollizione del-

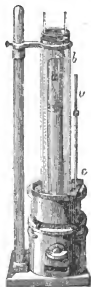



Fig. 559.

l'acqua. Allora l'acqua contenuta nella bollicina di vetro, vaporizzandosi, rompe l'inviluppo e si espande nella parte più elevata della campanella, deprimendo internamente il mercurio, ed elevandolo all'esterno, ma sempre in modo che qui sia più basso che non entro la campanella, ove il mercurio sopporta non solo la pressione dell'atmosfera, ma anche quella dell'acqua del tubo. A questo modo si viene a sapere: 1.° il volume del vapore, il quale è misurato dalla scala segnata sulla campanella; 2.° la temperatura di esso, che viene indicata dai due termometri posti nel vaso b; e 3.° la pressione a cui il vapore è sottomesso, quale viene rappresentata dalla differenza fra l'altezza del barometro al momento dell'osservazione e l'altezza del mercurio nella campanella al dissopra del livello del mercurio esterno.

Non rimane quindi che di calcolare il peso d'un volume d'aria eguale a quello del vapore, nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione. Rappresentando con P, v, t il peso, il volume e la temperatura del vapore, con H l'altezza barometrica, e con h l'altezza del mercurio nella campanella, il problema si riduce a trovare il peso p d'un volume v d'aria, alla temperatura t e sotto la pressione $H - h$. La soluzione è facilissima per chi si rammenti che, a 0° e sotto la pressione $0^{m},76$, un litro d'aria pesa $1^{gr.},3$; e quindi il peso di volume v alla stessa pressione ed a 0° sarebbe $1^{gr.},3 \times v$. Per calcolare il peso dello stesso volume d'aria a t gradi, si rifletta che, essendo 0,00366 il coefficiente di dilatazione dell'aria, il volume di essa, passando da 0° a t^{0}, aumenta nel rapporto di 1 ad $(1 + t \times 0,00366)$; e per conseguenza, siccome il peso di ogni unità di volume è in ragione inversa di questa dilatazione, così, chiamando x il peso del volume v d'aria, alla temperatura t ed alla pressione $0^{m},76$, avremo $1^{gr.},3 \times v : x = (1 + t \times 0,00366) : 1$; e da cui si ottiene $x = \frac{1^{gr.},3 \times v}{1 + 0,00366 \times t}$. E per ultimo, si ricordi che i pesi di uno stesso volume d'aria sono proporzionali alle pressioni che sopportano, ossia che $p : \frac{1^{gr.},3 \times v}{1 + (0,00366 \times t)} = H - h : 0^{m},76$; da cui $p = \frac{(1^{gr.},3 \times v) \times (H - h)}{0^{m},76\,(1 + 0,86366 \times t)}$. Quindi siccome è $D = \frac{P}{p}$, così sostituendo il valore di p, avremo $D = \frac{P\,(1^{gr.},3 \times v) \times (H - h)}{0^{m},76\,(1 + 0,00366 \times t)}$, cioè $D = \frac{P\,(0^{m},76\,(1 + 0,00366 \times t)}{1^{gr.},3 \times v\,(H - h)}$.

Di questa formola si conosce P, che è il peso dell'acqua introdotta nella bollicina di vetro; le scale annesse all'apparecchio descritto, ed il barometro mostrano v, H ed h; quindi alla fin dei conti si verrà a sapere il valore D, ossia la densità del vapore.

Rapporto tra il volume del liquido e quello del suo vapore. Dalla notizia precedente possiamo dedurre una bella regola per determinare facilmente il volume di un peso noto di un vapore qualunque, alla tensione massima e ad una data temperatura. Sia proposto, per esempio, di calcolare il volume di un grammo di vapore acqueo a 100° ed alla pressione $0^{m},76$. Siccome la densità del vapore d'acqua a 100° è 0,6235 rispetto all'aria, così si avrà il peso di un litro di vapore acqueo, alla temperatura di 100°, ed alla pressione di $0^{m},76$, moltiplicando il peso di un litro d'aria, alla stessa temperatura, ed alla medesima pressione pel numero 0,6235. Ma chi non sa che un litro d'aria, a 0° e sotto la pressione di $0^{m},76$, pesa $1^{gr.},3$? Perciò se p' fosse il peso dell'aria a 100°, e sotto quella pressione, essendo rappresentata da $1 + (0,00366 \times 100)$ la dilatazione dell'aria nel passaggio da 0° a 100°, e sapendo che i pesi dell'unità di volume sono in ragione inversa delle dilatazioni, avremo $1^{gr.},3 : p' = 1 + (0,00366 \times 100) : 1$, da cui si ottiene $p' = \frac{1^{gr.},3}{1 + (00366 \times 100)} = \frac{1^{gr.},3}{1,366} = 0^{gr.},951$. Quindi un litro di vapore alla temperatura di 100°, ed alla pressione di $0^{m},76$ pesa $0^{gr.}951 \times 0,6235 = 0^{gr.},592$.

Dopo ciò, per sapere il volume v occupato da un grammo di vapore, che si trova nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione, basta riflettere che, siccome sono eguali la temperatura e la pressione, così i pesi sono naturalmente proporzionali ai volumi, cioè $1^{gr.} : v = 0^{gr.},592 : 1^{lit.}$; da cui si ha $v = \frac{0,592}{1} = 1,689$ litri, ossia a 1,689 centimetri cubici. Siam così tratti a conchiudere che l'acqua cambiandosi in vapore a 100° e sotto la pressione di $0^{m},76$, acquista un volume circa 1700 volte maggiore di quello che aveva allo stato liquido; giacchè un grammo d'acqua, presso 100° ed alla pressione menzionata, è circa un centimetro cubico.

A corona del sin qui detto pongo le tavole della densità e dei volumi del vapore acqueo, alle diverse temperature da — 20° a 500° circa, assumendo per unità di misura la densità ed il volume dell'acqua a 0°.

Temperatura	Tensione	Densità	Volume
— 20°	1mm,333	0,00000154	650588
— 15	1,879	212	470898
— 10	2,631	292	342984
— 5	3,660	398	251358
1	5,059	540	182323
2	5,393	573	173495
3	5,784	609	164332
4	5,123	646	154842
5	6,523	686	145886
6	6,947	727	137488
7	7,396	772	129587
8	7,871	818	122241
9	8,375	867	115305
0	8,909	919	108790
10	9,475	974	102670
11	10,074	0,00001032	99202
12	10,707	1092	91564
13	11,378	1157	86426
14	12,087	1224	81686
15	12,837	1299	77008
16	13,630	1372	72913
17	14,468	1451	68923
18	15,353	1534	65201
19	16,288	1622	61654
20	17,314	1718	58224
21	18,317	1811	55206
22	19,417	1914	52260
23	20,577	2021	49487
24	21,805	2133	46877
25	23,090	2252	44411
26	24,452	2376	42084
27	25,881	2507	39895
28	27,390	2643	37838
29	29,045	2794	35796
30	30,643	2938	34041
31	32,410	3097	32291
32	34,261	3263	30650
33	36,188	3435	29112
34	38,254	3619	27636
35	40,404	3809	26253
36	42,743	4017	24897
37	45,038	4219	23704

Temperatura	Tensione	Densità	Volume
38°	47^{mm},579	0,00004442	22513
39	50,147	4666	21429
40	52,998	4916	20343
41	55,772	5156	19396
42	58,792	5418	18459
43	61,958	5691	17572
44	65,627	6023	16805
45	68,751	6274	15938
46	72,393	6585	15185
47	76,205	6910	14472
48	80,195	7242	13809
49	84,370	7602	13154
50	88,742	7970	12546
51	93,301	8354	11971
52	98,075	8753	11424
53	103,060	9174	10901
54	108,270	9606	10410
55	113,710	0,00010054	9946
56	119,390	10525	9501
57	125,310	11011	9082
58	131,500	11523	8680
59	137,940	12044	8303
60	144,660	10599	7937
61	151,700	13179	7594
62	158,960	13760	7267
63	166,560	14374	6957
64	174,470	15010	6662
65	182,710	15668	6382
66	191,270	16356	6114
67	200,180	17060	5860
68	209,440	17797	5619
69	219,060	18566	5386
70	229,070	19355	5167
71	239,450	20174	4957
72	250,230	21013	4759
73	261,430	21889	4569
74	273,030	22794	4387
75	285,070	23789	4203
76	297,570	24702	4048
77	310,490	25699	3891
78	323,890	26739	3741
79	337,760	27789	3599

Temperatura	Tensione	Densità	Volume
80°	352mm,080	0,00028889	3462
81	367,000	30025	3331
82	382,380	31195	3206
83	398,280	32399	3087
84	414,730	33637	2973
85	431,710	33916	2864
86	449,260	36237	2760
87	467,380	37590	2660
88	486,090	38984	2565
89	505,380	40417	2474
90	525,280	41891	2387
91	545,800	43405	2304
92	566,950	44956	2224
93	588,740	46546	2148
94	611,180	48201	2075
95	634,270	49886	2005
96	658,050	51613	1938
97	682,590	53388	1873
98	707,630	55191	1812
99	733,460	57055	1751
	Forza elastica espressa in atmosfere		
100°	1	0,0005895	1696,00
121,4	2	0,0011147	897,09
135,1	3	0,0016150	619,19
145,4	4	0,0020997	476,26
153,1	5	0,0025763	388,16
160,2	6	0,0030402	328,93
166,5	7	0,0034911	286,12
172,1	8	0,0039434	253,59
177,1	9	0,0043863	227,98
181,6	10	0,0048226	207,36
311,36	100	0,037417	26,72
363,58	200	0,068633	14,570
397,65	300	0,097671	10,238
423,57	400	0,12534	7,978
444,70	500	0,15202	6,578
462,71	600	0,17791	5,621
478,45	700	0,20318	4,921
492,47	800	0,2279	4,387
505,16	900	0,2522	3,965
516,66	1000	0,276	3,622

614. **Densità degli altri vapori**. Per non lasciare incompiuto quel che spetta allo studio della densità dei vapori, ci resta ancora da risolvere un problema, ed è questo: come determinare la densità dei vapori di quei liquidi che bollono a temperature più alte di 150° circa. Imperocchè il processo descritto non può servire all'intento che fino a questo limite di temperatura: al di là, insieme ai vapori del liquido, nascono anche quelli del mercurio dotati di notevole elasticità; e non è più possibile di far l'esperienza in maniera esatta. Per buona sorte però, si conosce un altro metodo, che non presenta tale inconveniente, ed è quello di Dumas. L'apparecchio è qui ancora più semplice di quello di Gay-Lussac; non è che un pallone di vetro, capace di circa un mezzo litro, munito di un collo ricurvo, che termina in una estremità affilata. Volendo determinare la densità di un vapore, si comincia dall'essiccare bene il pallone; lo si pesa pieno, com'è naturalmente, d'aria; e se ne deduce il peso P del vetro. Poscia, si versa una goccia del liquido, di cui vuolsi studiare il vapore, e lo si immerge in un bagno d'acqua satura di sale, od in un bagno d'olio di unghia di bue o di lega di Darcet, a seconda della temperatura di ebollizione del liquido che trovasi nel pallone. Per mantenere il pallone nel bagno, lo si stringe fra due anelli orizzontali, che possono scorrere lungo un'asta di ferro, ferma al labbro della pentola che contiene il bagno. Ognuno indovina cosa debba avvenire, scaldando il liquido della pentola alquanto al di là della temperatura di ebollizione del liquido contenuto nel pallone. Quest'ultimo vaporizza, ed il vapore, svolgendosi dalla punta, scaccia l'aria che trovasi nell'apparecchio. Ebbene, quando tutto il liquido è vaporizzato, si fonde alla lampada la punta affilata del pallone, avendo cura di notare la temperatura del bagno e l'altezza del barometro all'istante medesimo. Fatto questo, si lasci raffreddare il pallone, lo si asciughi con diligenza e lo si pesi di nuovo. Supponendo che il peso ottenuto sia P′, è chiaro che, per sapere il peso del vapore, conviene sottrarre da P′ il peso del vetro, ed aggiungere al residuo il peso dell'aria spostata. Il calcolo è facilissimo, quando si conosca il volume del pallone; ed a ciò si arriva nella maniera seguente. In un vaso pieno di mercurio s'immerge il collo del pallone, e se ne rompe l'estremità. Allora, essendosi fatto il vuoto nel pallone, il liquido esterno vi entra, e lo empie totalmente, qualora tutta l'aria ne sia stata espulsa. Versando in una campana graduata il mercurio salito nel pallone, si viene a saperne la capacità alla temperatura ordinaria; indi, tenendo calcolo di quanto si è dilatato alla

temperatura del bagno, se ne deduce il volume alla stessa temperatura. Così facendo, si ha il peso di un certo volume di vapore a temperatura ed a pressione determinata. Di qui innanzi tutto procede come nel metodo di Gay-Lussac. Nella tavola seguente vi espongo i risultati delle esperienze di Dumas: non dimenticate che l'unità di misura è la densità dell'aria.

Nome del vapore	Densità	Nome del vapore	Densità
Vapore di mercurio	6,976	Vapore d'iodio	8,716
» di protocloruro di arsenico	6,301	» di solfuro di carbonio	2,644
» d'essenza di trementina	5,013	» d'etere solforico	2,586
» di protocloruro di fosforo	4,875	» d'acido fluoborico	2,312
» di acido fluorico	3,600	» d'etere idroclorico	2,219
» d'idrog. arsenicato	2,695	» d'alcool	1,613
		» di carbonio	0,422

615. **Macchine a vapore.** Ogni verità scientifica è capace di belle e spesse volte di utili applicazioni; ma le notizie or ora esposte ne suggerirono una delle più sorprendenti, *la macchina a vapore*. Chicchessia ne conosce l'importanza e ne ammira il meccanismo. Essa fornisce un motore economico di potenza straordinaria, e sostituendo alle forze dell'uomo quelle della natura, dispensa l'uomo stesso da enormi fatiche, e ne moltiplica mirabilmente gli effetti. La macchina a vapore fila, tesse, alza pesi, cava acqua, stampa libri, sega legni, lavora metalli, apre strade nelle viscere dei monti, muove enormi vascelli sul mare, corre con lungo seguito di vagoni sulle vette coperte di neve e di ghiaccio, non accessibili in prima che all'aquila ed all'avoltojo; sicchè per essa possiam dire scemate le distanze, moltiplicate e variate in mille guise le industrie, ed agevolato prodigiosamente il commercio.

Gli antichi avevano cognizioni abbastanza esatte dell'energia del vapore, per concepire almeno la possibilità della scoperta. Imperocchè Seneca spiegò i terremoti per l'espansione del vapore prodotto dal fuoco sotterraneo; ed Erone d'Alessandria, 120 anni avanti l'èra cristiana, descrisse l'*eolipila a reazione*. Per formarvi un concetto di questo apparato, figuratevi una sfera

cava di metallo (fig. 560) che possa rotare liberamente attorno a due perni, ed alle estremità di un suo diametro, perpendicolare all' asse di rotazione, porti due tubulature forate in senso contrario. Supponete che la sfera contenga un po' d'acqua e venga

Fig. 560.

scaldata, o meglio che dessa riceva vapore dai due sostegni cavi: è chiaro che il vapore, sfuggendo dai due orifizj, reagirà sulle pareti opposte, ed imprimerà un rapido movimento di rotazione alla medesima sfera, per lo stesso principio ed a quello stesso modo che l'acqua, uscendo dall'arganetto idraulico (245), lo fa girare. Ma gli antichi non seppero trar profitto alcuno dalle loro cognizioni. La storia della fisica ci fa sapere che in epoche più vicine a noi si tentò pure di applicare all'industria la forza del vapore. Salomone di Caus se ne servì a sollevare l'acqua per pressione; l'italiano Branca imaginò una macchina, la quale era mossa da un getto di vapore che percuoteva le palette di una rota. A questo punto però rimasero le cose per molto tempo, e per quanto l'uomo abbia fatto e studiato per portarle più innanzi, tutti i tentativi riescirono infruttuosi fino al 1690. Papin fu il primo che imaginasse l'esperimento di movere uno stantuffo, collocandolo in un cilindro, dove prima v'introduceva il vapore e poscia lo condensava. Questa idea divenne poi feconda delle più belle applicazioni, e Papin ne parlò in guisa da mostrare come non solo avesse badato a metterla in pratica e realizzarla in grandi proporzioni, ma avesse anche, collo sguardo profetico del genio, indovinate le conseguenze di questo principio, alle quali pervennero in seguito Watt e Stephenson. La

gloria adunque della scoperta di questa invenzione, che fu di tanto buon effetto nel progresso sociale, ed accrebbe tanto lo splendore della scienza che valse ad inspirarla, è tutta del francese Papin, e degli inglesi Watt e Stephenson, che applicarono all'industria il principio di Papin, con mirabile perspicacia, nelle maniere le più diverse, superando tutte le difficoltà che si frapponevano alla soluzione dei problemi, che il loro ingegno elevato propose a sè stesso con incredibile ardimento.

Le macchine a vapore si distinguono in *fisse* e *locomotive*. Le prime sono costrutte in molte diverse maniere, a seconda dello scopo a cui servono. Già s'intende che qui non è opportuno, e neppure mi sarebbe possibile, descrivere tutte o almeno le principali macchine fisse di cui fa uso l'industria: da principio esporrò pertanto ciò che è comune a qualunque macchina a vapore; indi vi aggiungerò la descrizione della parte essenziale di una macchina fissa; ed in fine vi farò conoscere le locomotive.

616. **Macchine fisse**. Ogni macchina a vapore si compone di due parti principali, cioè: della caldaja ove si produce il vapore, denominata *generatore del vapore;* e della *macchina propriamente detta,* che serve a trar profitto dalla forza del vapore ad un intento particolare.

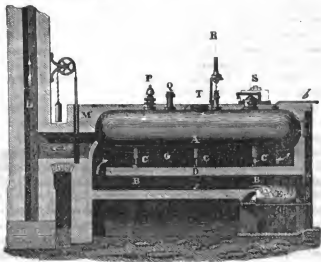



Fig. 561.

617. **Generatore del vapore**. La caldaja nelle macchine fisse è un lungo cilindro A (fig. 561), fatto di lamiere di ferro

e terminato alle estremità in due emisferi. D'ordinario, sotto al primo cilindro, ne sono collocati altri due B di minor diametro, paralleli e comunicanti con esso per mezzo di tre tubulature C. Questi due ultimi cilindri si chiamano i bollitori. La figura 562 vi mostra una sezione della caldaja e dei bollitori, fatta con un piano perpendicolare alla loro lunghezza. Al momento di mettere in attività la macchina, dal tubo b (fig. 561) si versa nel generatore tanta acqua quanto basta a riempirne i bollitori, e circa la metà inferiore della caldaja. Poscia, si accende fuoco nel focolajo F. La fiamma investe i bollitori, ed i prodotti gasosi, che partono da essa, circolano attorno alla caldaja nel senso indicato dalle frecce, e sfuggono poi pel camino L. Il vapore, che si produce allora nella caldaja, dalla apertura Q, pel tubo a (fig. 562), passa nella macchina propriamente detta, che descriveremo più innanzi.

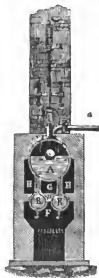



Fig. 562.

Cause più comuni di esplosioni. La produzione del vapore in un apparato chiuso, e la necessità di aumentarne la tensione fino ad un punto elevato, onde possa servire allo scopo di muovere la macchina, porta seco necessariamente il pericolo dell'esplosione del generatore. Le cause principali di questo disastro si possono ridurre alle seguenti.

1.° *La tensione del vapore superiore alla tenacità attuale del generatore.* È cosa per sè evidente.

2.° *L'abbassamento dell'acqua nella caldaja al dissotto del limite superiore della superficie che si trova in contatto colla fiamma.* Imperocchè la parte di questa superficie, che non è bagnata, può arroventare, e così non solo diminuire moltissimo di tenacità, ma assumere anche uno stato molecolare diverso da quello delle parti vicine: il che rende facilissima la separazione di quella da queste. Ciò spiega come spesso la rottura della caldaja avvenga lungo la linea orizzontale del livello, sebbene inegualmente grossa. Per provocare in tal caso l'esplosione basta, per esempio, che la pressione del vapore diminuisca per qualunque causa: allora l'acqua, bollendo tumultuosamente, percuote le pareti infocate, vaporizza in gran quantità, e ben presto la massa aeriforme interna acquista abbastanza di forza per vincere la diminuita tenacità della caldaja.

3.° *Le incrostazioni interne della caldaja.* L'incandescenza

tanto dannosa delle pareti della caldaja può dipendere anche da un'altra causa, cioè dal deposito solido che le acque non distillate, nel vaporizzare, lasciano sul fondo del recipiente. Questi depositi, crescendo a poco a poco, arrivano a formare uno strato di una durezza estrema e di uno spessore notevole, che impedisce il contatto dell'acqua colle pareti della caldaja, le quali pertanto diverranno incandescenti, perdendo assai di tenacità. È naturale che, se allora si forma qualche fessura nella crosta interna, l'acqua, penetrandovi, arriverà a toccare il metallo infocato, passerà rapidamente allo stato aeriforme rompendo qua e là l'incrostazione; e così altra acqua passerà a contatto della superficie scoperta, e si produrrà istantaneamente una massa enorme di vapore.

4.° *L'eccessiva attività del fuoco.* Quando i tubi, che mettono in comunicazione la caldaja coi bollitori, sono troppo stretti, può avvenire che il vapore trascini fuori dai bollitori stessi l'acqua, e questa non possa più ridiscendervi per la medesima via. È chiaro che allora i bollitori, in parte vuoti, arriveranno ad infocarsi, e nel tempo stesso diminuirà assai la produzione del vapore, giacchè l'acqua interna non è più totalmente a contatto colle pareti scaldate. Ma queste non tarderanno molto ad abbassarsi di temperatura, sicchè potranno essere nuovamente bagnate dall'acqua interna; ed a questo istante si formerà repentinamente tanto vapore da spaccare la caldaja. Non credete però che tale fenomeno possa avvenire appena nella circostanza sopra menzionata. Chi si rammenti le cose esposte al n. 602, non ha bisogno ch'io gli dica come l'acqua possa cessare di bagnar le pareti della caldaja, anche senza esserne meccanicamente allontanata. Normamby constatò che la caldaja di una macchina a vapore può essere scaldata al calor rosso, attivando abbastanza il fuoco. La circostanza in discorso spiega come l'esplosione talvolta accada nel periodo stesso del raffreddamento dell'acqua, dopo sottratto il fuoco alla caldaja; ed anche l'altro fatto che spesse volte il movimento della macchina, poco prima della catastrofe, diminuisce di rapidità. Per evitare dunque il pericolo descritto, conviene che il fuoco sia regolato con particolare attenzione.

5.° *La mancanza d'aria nell'acqua della caldaja.* A prima giunta potrà recar meraviglia che questa circostanza possa cagionare l'esplosione della macchina; ma la cosa diviene manifesta se si riflette che l'acqua, priva d'aria, tarda molto a bollire, finchè, arrivata ad una certa temperatura, lo fa con rapidità singolare e con vera esplosione. Epperò chi non vede quanto è facile che l'acqua d'un generatore, continuando per lungo tempo

a bollire sotto una forte pressione, e quindi senza agitarsi molto, perda totalmente l'aria, e divenga capace di produrre l'effetto menzionato?.... Anche questa causa può servire a spiegare il fatto del rallentarsi della macchina, ossia del diminuire della tensione del vapore, avanti che si manifesti lo scoppio.

618. **Come s'impedisca che la tensione del vapore, aumentando successivamente, divenga eccessiva.** Per impedire che la tensione del vapore aumenti a poco a poco fino al punto di diventare eccessiva, si comincia dall'unire alla caldaja uno o più *manometri* (172), ed, in un tubo di ferro, vi si introduce anche un termometro, onde sapere ad ogni istante la tensione e la temperatura del vapore contenuto in essa. Ma il mezzo principale, per raggiungere l'intento, è quello di munire la caldaja delle *valvole*, dette *di sicurezza*, perchè si aprono a dare sfogo al vapore, prima che la tensione di esso arrivi ad eguagliare la resistenza che gli possono opporre le pareti della caldaja. Tre sono le valvole principali. La prima è la *valvola a peso*, simile a quella della pentola di Papin. Un'altra valvola, chiamata *a molla,* non differisce dalla precedente che nell'essere l'animella premuta nella sua cavità da una molla, e non da un peso. Nell'una e nell'altra valvola la resistenza alla pressione del vapore può variarsi ad arbitrio entro certi limiti: importando solo che anche la massima resistenza possibile sia molto inferiore alla forza che farebbe scoppiare la caldaja. Nella fig. 561 in S vi è rappresentata una valvola a peso. Altre volte poi si usava, come un soprappiù di cautele, anche la *valvola chimica;* cioè, fatto un piccolo foro nella parete superiore della caldaja, lo si chiudeva con una lega che dovesse fondersi, quando il vapore arrivasse ad una tensione pericolosa. Ma si è poi trovato che questa valvola non giovava gran fatto, in causa di un singolare fenomeno che simili piastre patiscono; ed è che, quando rimangono lungamente esposte ad un caldo poco minore di quello che le può fondere, si alterano in modo da diventare assai meno fusibili. Una cosa poi, che non bisogna perdere di vista nella costruzione delle valvole, è che desse abbiano dimensioni proporzionali alla quantità ed alla tensione del vapore contenuto nella caldaja; altrimenti, invece di essere apparati di sicurezza, potrebbero per sè stesse, al momento in cui vengono aperte, produrre l'esplosione della caldaja, diminuendo repentinamente di troppo la pressione del vapore, e determinando nell'acqua della caldaja una tumultuosa ebollizione, ed una produzione istantanea di vapore. Il diametro d che deve darsi ad una valvola di sicurezza, affinchè quando è aperta lasci sfuggire tanto vapore quanto appunto

se ne produce di più nel generatore, ci viene indicato in centimetri dalla formola $d = 2,6 \sqrt{\frac{S}{P - 0,412}}$; nella quale S rappresenta la superficie del generatore scaldata dai prodotti della combustione, e P è la pressione del vapore espressa in atmosfere. Da qui apparisce che i diametri delle valvole debbono crescere coll'aumentare della superficie scaldata ed al diminuire della forza espansiva del vapore.

Non si pensi però che queste guarentigie possano dispensare dall'essere attenti e prudenti nell'uso delle macchine a vapore; giacchè facilmente gli apparati di sicurezza possono guastarsi, le caldaje medesime, a lungo andare, diminuiscono di spessore e di tenacità, sia per l'azione corrosiva di certe acque, e sia per effetto della fiamma da cui sono investite. Converrà pertanto osservare frequentemente lo stato del generatore e dei diversi congegni che ne guarentiscono l'uso.

619. **Come si mantenga costante il livello dell'acqua nella caldaja.** Mentre, per la sicurezza del generatore, importa che l'acqua nella caldaja non si abbassi al dissotto della parete scaldata, al buon effetto della macchina conviene che l'acqua stessa non si elevi di troppo, onde il vapore uscendo dalla caldaja non trascini seco anche dell'acqua, e perchè la quantità di vapore, levata ad ogni periodo di tempo dalla caldaja, sia in rapporto costante con quella che vi rimane e con quella che si produce. Essendo pertanto della massima importanza mantenere costante il livello dell'acqua nella caldaja, innanzi tutto si pensò la maniera di poterlo conoscere in qualsivoglia momento. A questo intento servono specialmente tre piccoli e semplicissimi apparati. Il primo si compone di due piccoli tubi a rubinetto, denominati *chiavi di prova,* applicati alla caldaja, in vicinanza di quella linea che deve corrispondere alla superficie dell'acqua nelle condizioni ordinarie: l'uno è al dissopra, e l'altro è al dissotto di questa linea stessa. Ognuno indovina che, nella posizione ordinaria del livello, aprendo il primo si ottiene un getto di vapore, e dal secondo invece si ha un getto d'acqua. Chi regola pertanto la macchina, per esplorarne di tempo in tempo l'altezza dell'acqua, non ha altro a fare che aprire per un istante i due rubinetti, o come si chiamano, le due *chiavi di prova.* Un altro indicatore del livello dell'acqua nella caldaja è il *tubo a livello,* il quale consiste in due tubi metallici applicati al generatore, nella estremità che sta sopra al fornello, in maniera che l'uno comunica col vapore e l'altro coll'acqua, e riuniti ester-

namente da un tubo di cristallo. Nella figura 561, al dissotto di *b*, si scorge il tubo a livello descritto. Pel principio dei vasi comunicanti (130), il livello nel tubo esterno è alto come nella caldaja. Le estremità di questo tubo sono munite di due rubinetti, ordinariamente aperti, che si chiudono quando mai il tubo stesso venisse rotto. Il terzo indicatore è un *galleggiante,* posto sull'acqua della caldaja, il quale naturalmente si abbassa o si eleva col livello dell'acqua stessa. Questo galleggiante porta una asta R (fig. 561), che attraversa le pareti della caldaja, e si prolunga all'esterno; ovvero si unisce ad un filo metallico, che dopo d'aver attraversato la parete superiore della caldaja, passa sopra una puleggia, sostenendo, all'altro estremo, un contrappeso. Nel primo caso si conosce la posizione del livello dall'altezza dell'asta, e nel secondo essa viene indicata tanto dalla posizione del contrappeso, quanto da un indice fissato all'asse della puleggia.

L'ingegno umano, non contento d'aver trovato il mezzo per conoscere ad ogni istante il livello dell'acqua nella caldaja, seppe anche disporre le cose in modo che la medesima macchina, con un acutissimo fischio, desse segno a grande distanza dell'abbassamento dell'acqua nel generatore. Serve a questo fine il *galleggiante a fischio d'allarme.* Esso è formato da una leva di primo genere, appoggiata nell'interno della caldaja al punto B (fig. 563).

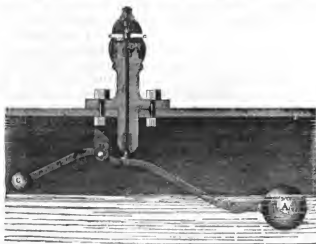



Fig. 563.

Il braccio maggiore di questa leva, verso l'estremità, porta il galleggiante A, ed in vicinanza del fulcro sostiene un piccolo

cono metallico, destinato a chiudere ermeticamente un' apertura conica; fatta in cima della parete della caldaja; ed il braccio minore della medesima leva sorregge un contrappeso C. Si capisce facilmente che, se il galleggiante A discende oltre un certo punto, esso viene con ció ad aprire la valvola: il vapore ne schizza tosto impetuosamente, attraversa il tubo *b*, e sfugge all' esterno, incontrando i labbri *cc* di una campanella, sicchè cagiona un fischio acutissimo. Il macchinista é così avvisato che la caldaja ha bisogno di acqua. Lethuiller-Pinel ha costrutto un ingegnoso apparato, conosciuto sotto il nome d'*indicatore magnetico,* il quale, mentre indica continuamente il livello dell'acqua, è capace eziandio di produrre il fischio nel caso in cui l'acqua venga a mancare. Il galleggiante, per mezzo di un' asta che si prolunga in un tubo metallico, applicato superiormente alla caldaja, porta una calamita, la quale, elevandosi od abbassandosi col galleggiante stesso, trascina seco per attrazione un piccolo indice orizzontale, scorrevole sulla superficie esterna del tubo; e così indica il livello dell' acqua. Che se questo si abbassa troppo, la calamita, abbassandosi insieme, incontra l'estremità ricurva di un' asta a cui è unita l'animella della valvola conica, sicchè questa viene aperta, il vapore sfugge urtando i labbri di un fischietto analogo a quello che già conoscete. L'acqua viene introdotta nella caldaja per mezzo di una tromba premente, che si mette in comunicazione con essa, aprendo un apposito rubinetto. Se però la macchina è a bassa pressione, il galleggiante a fischio d' allarme è surrogato dall' *alimentatore sè movente,* apparato per mezzo del quale la macchina stessa può risarcirsi il consumo dell' acqua, senza il concorso immediato dell'operajo. L'*alimentatore sè movente* si compone di un tubo *b* (fig. 564), che comincia presso il fondo della caldaja, ne attraversa la parete superiore, e prolungandosi esternamente, termina in un vaso M,

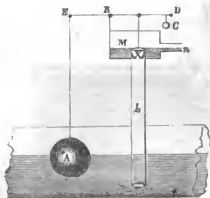



Fig. 564.

ove, da un tubo *n* vi arriva acqua calda. La bocca del tubo *b* è ordinariamente chiusa da un turacciolo conico X, sostenuto

da un filo fermato al braccio BD di una leva di primo genere, che ha il fulcro in B. L'altro braccio BE porta un galleggiante A, equilibrato da un contrappeso C, in modo che nella posizione normale del livello dell'acqua nella caldaja, il turacciolo X chiuda l'apertura del tubo *b*. Ma se l'acqua viene a mancare, abbassandosi il galleggiante, viene alzato il turacciolo X, e l'acqua del vaso M precipita nel tubo *b*, finchè, stabilitosi il livello ordinario, la valvola venga a chiudersi nuovamente.

620. **Come s'impediscano le incrostazioni interne del generatore.** Onde le interne incrostazioni della caldaja non aumentassero al punto da divenire nocive, da principio non si faceva altro che pulirne di tempo in tempo le pareti. Quindi la caldaja ha anche una apertura T (fig. 561) di tal grandezza che possa entrarvi una persona, e si chiama il *passo dell'uomo;* la quale serve poi anche per scoprire e riparare i guasti. Ma si è poi trovato che versando nell'acqua della caldaja una poltiglia di pomi di terra, il sedimento non prende più la consistenza di una crosta solida, ma rimane sul fondo a guisa di fango senza aderirvi. Si ottiene il medesimo effetto gettando nell'acqua dell'argilla, che vi si discioglie, o colorandola con qualche legno di tintura. Da poco tempo Delandre ha scoperta la medesima proprietà nel protocloruro di stagno. Teoricamente non si sa quale preferire di questi diversi mezzi; giacchè è questione che si deve risolvere in pratica, dipendendo il risultato dalla natura delle acque adoperate.

621. **Come si regoli l'attività del fuoco, e non si permetta che l'ebollizione abbia a ritardare troppo.** Per regolare l'attività del fuoco, si aumenta o si diminuisce, fra certi limiti, la corrente d'aria aspirata dal camino, applicandovi il registro M (fig. 561), formato da una piastra, estesa quanto la sezione trasversale del camino, la quale lo attraversa, ed è sostenuta, per mezzo di un filo metallico e di una puleggia, da un contrappeso. È chiaro che, aumentando o diminuendo questo contrappeso, il registro si alzerà o s'abbasserà, e per conseguenza diverrà più grande o più piccola la bocca del camino. Nelle macchine a bassa pressione il contrappeso del registro è galleggiante sull'acqua contenuta nel tubo d'alimentazione, sicchè si eleva o si abbassa a seconda della pressione del vapore nella caldaja.

A raggiungere l'altro intento, che l'ebollizione non sia ritardata molto, bisogna aver la cura di rinnovellare l'acqua della caldaja di tempo in tempo, almeno parzialmente, onde contenga sempre una sufficiente quantità di aria. Giffard imaginò un ap-

parato per introdurre l'acqua nella caldaja, il quale è fatto in modo da injettarvi insieme una notevole quantità di aria. L'uso pertanto di questo strumento basta ad assicurarci che l'acqua della caldaja sarà in ogni caso mescolata con abbastanza di aria, perchè non bollisca troppo tardi. Ad impedire questo medesimo ritardo di ebollizione, Dufour propone di collocare nelle caldaje qualche filo di platino. Per conservare a questi fili la loro attività, basterebbe tenerli in comunicazione col polo positivo di una debole corrente elettrica, il cui polo positivo comunicasse colla caldaja isolata dai fili stessi.

622. **Macchina propriamente detta. Principio fondamentale delle macchine a vapore.** Il principio generale per ottenere dalla forza del vapore il movimento alternativo di un punto determinato, è quello di introdurre e di levare alternativamente il vapore da un cilindro cavo. In questo cilindro è collocato uno stantuffo, scorrevole a tenuta di vapore lungo l'altezza, e munito di un'asta che passa, parimenti a tenuta di vapore, per mezzo al coperchio ben chiuso dell'apparecchio. La cavità del cilindro viene così divisa dallo stantuffo in due camere, di grandezza relativamente variabile. Il vapore proveniente dal generatore può entrare in una sola di queste camere, ovvero in ambedue successivamente. Supponiamo che il cilindro sia verticale, e lo stantuffo si trovi all'alto. È naturale che se, mentre s'introduce il vapore nella camera superiore, si leva quello che occupa la camera inferiore, lo stantuffo dovrà abbassarsi. Già s'intende che si otterrà l'effetto contrario quando, essendo lo stantuffo al basso, ed abbandonato all'azione di un peso che tenda a sollevarlo, s'impedisca ad altro vapore di entrare nella camera superiore, e si metta invece questa camera in comunicazione coll'inferiore; oppure, quando, essendo pure lo stantuffo al basso, si levi il vapore dalla camera superiore, e si introduca altro vapore nella camera inferiore. A seconda che si usa l'uno o l'altro mezzo, la macchina chiamasi *a semplice* od *a doppio effetto;* una macchina dicesi a semplice effetto, quando il vapore non move lo stantuffo che da una parte sola; ed invece denominasi a doppio effetto, se lo stantuffo è spinto dal vapore alternativamente ora in un senso, ed ora nel senso opposto.

Per sottrarre il vapore al cilindro, si possono tenere due vie, cioè: lo si condensa, o gli si apre uno sfogo nell'atmosfera. La prima cosa può farsi qualunque sia la tensione del vapore; ma la seconda è possibile appena quando la tensione del vapore è notevolmente superiore alla pressione atmosferica. Le macchine pertanto, in ordine alla tensione del vapore da cui son mosse,

si distinguono *a bassa* e *ad alta pressione;* e quanto al processo che si tiene per toglicre ad esse il vapore, si classificano in macchine *a condensazione* ed in macchine *senza condensazione.* E chiaro che le macchine senza condensazione sono sempre ad alta pressione.

623. **Macchina di Watt a semplice effetto**. Le macchine a semplice effetto, costrutte da Watt all'intento di movere le trombe aspiranti che scrvivano ad estrarre l'acqua dalle miniere, sono a condensazione. L'asta dello stantuffo P (fig. 565)

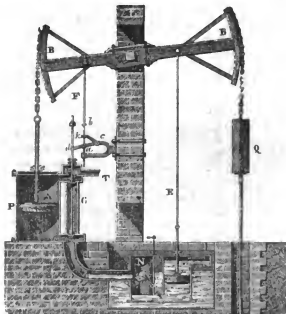



Fig. 565.

si unisce, per mezzo di una catena, al braccio di una leva BB di primo genere, detta il *bilanciere.* All'altro braccio si congiunge nella stessa maniera il peso Q (che scrve ad alzare lo stantuffo) e l'asta della tromba aspirante da mettere in moto. Il vapore dal tubo T arriva nella cassetta di distribuzione, ma da questa non può sempre passare nel cilindro A; e facilmente ne capite la ragione. La cassetta cilindrica C ha quattro aperture: una alla destra, dalla quale vi entra il vapore, due alla sinistra che la mettono in comunicazione col cilindro, ed una sul fondo per cui comunica con un tubo M. Inoltre questa medesima cassetta è

divisa da tre diaframmi trasversali, forati al centro, e nel mezzo di questi fori passa un'asta *d*, che a tenuta di vapore si prolunga esternamente, e nell'interno porta tre dischi *m, n, o*, i quali, essendo più grandi dei fori stessi, li possono chiudere esattamente, e l'ultimo è a tale distanza dal fondo, che abbassandosi, mentre apre il foro del diaframma, può chiudere la bocca del tubo M. Ma ciò che bisogna aver bene in mente per capire il congegno della cosa, si è che i tre dischi non possono chiudere contemporaneamente le rispettive aperture, perchè non hanno la stessa posizione in ordine alle aperture medesime: il disco *m* è al dissopra del foro che deve chiudere, e gli altri sono al dissotto; sicchè quando l'asta *d* si alza, la valvola *m* si apre, e si chiudono le altre due; e viceversa, abbassandosi quell'asta, vien chiusa la valvola *m*, e sono aperte le due *n* ed *o*. Bello e semplicissimo è poi il macchinismo che serve a produrre il movimento dell'asta *d*, per mezzo della macchina stessa. L'asta *d* è collegata ad una leva angolare *dck* mobile attorno al pernio *c*; ed un'asta F, sorretta e mossa dal bilanciere BB, va ad urtare l'estremità *k* ora coll'uno ed ora coll'altro di due piccoli cubi sporgenti *a* e *b*, di cui è munita: quando si eleva, la spinge col cubo *a*, e quindi innalza l'asta *d*; ed abbassandosi, la preme col cubo *b*, e perciò porta al basso l'asta medesima. Nel primo caso viene aperta la valvola *m*, e sono chiuse le due *n* ed *o*, sicchè il vapore entra nella camera superiore del cilindro ed abbassa lo stantuffo. Nel secondo caso invece la valvola *m* riesce chiusa, e le altre due si aprono: il vapore proveniente dal tubo T non entra più nel cilindro, e quello che si trova nella camera superiore di esso, spinto dallo stantuffo, che obbedendo all'azione del peso Q si alza, sfugge per le due valvole *n* ed *o*, e passa nella camera inferiore; dalla quale, nell'istante successivo, abbassandosi nuovamente lo stantuffo, e otturandosi la valvola *o*, mentre si apre la bocca del tubo M, schizza nel *condensatore* o vaso N, ove, incontrando un getto di acqua fresca, si condensa. Una tromba messa in moto dalla macchina stessa, a cui si unisce per mezzo dell'asta E, estrae dal condensatore l'acqua che viene a formarvisi.

624. **Macchine a doppio effetto**. Nella macchina descritta lo stantuffo, ricevendo l'impulso dal vapore appena nella discesa, non si alza con velocità eguale a quella che ha quando si abbassa. Ciò non produce gravi inconvenienti allorchè la macchina è destinata a movere una tromba, ma la cosa è ben diversa se si tratta d'applicarla ad un apparato che esiga un movimento regolare. In questi casi si adopera la macchina a doppio effetto,

imaginata dallo stesso Watt. Essa è molto più complicata della macchina a semplice effetto, e per averne un'idea abbastanza chiara conviene esaminare isolatamente le diverse parti che la compongono.

625. **Distribuzione del vapore.** Diversi congegni furono ideati onde ottenere che la macchina stessa distribuisse il vapore all'una od all'altra camera del cilindro, ovvero ve lo sottraesse per introdurlo nel condensatore o per lasciarlo sfuggire nell'atmosfera. Qui non ve ne faccio conoscere che tre soli, ma basteranno a darvi un'idea esatta della cosa. Il primo è uno inventato da Watt. Al cilindro A (fig. 566) si unisce una cassetta, che può comunicare per mezzo delle aperture *a* e *b*, colle due camere del cilindro stesso, ed è divisa da un diaframma in due scompartimenti di grandezza ineguale, messi però in comunicazione da due fori *x* ed *y*. Nello scompartimento maggiore si può movere un'asta *d*, che a tenuta di vapore si prolunga all'esterno, e nella quale sono infilati due piccoli stantuffi *p*, *p'*, ottimamente adattati alla grandezza dello scompartimento, e più grossi dell'altezza delle due aperture *a* e *b*. Le cose sono disposte in modo che quando l'asta *d* si abbassa, com'è nella figura, vengono aperti i tre fori *x*, *a*, *b*, rimanendo chiuso il foro *y*; ed invece, allorchè quell'asta si alza, sono aperti i tre fori *y*, *b*, *a*, e resta otturato il foro *x*. Il vapore dalla caldaja arriva in *c*, si espande

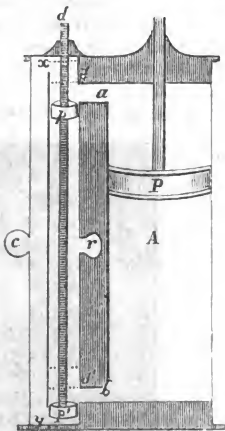



Fig. 566.

nel primo scompartimento, e naturalmente passa nel secondo, per quello dei due fori *x* ed *y* che trova aperto. Quando l'apparato sta come lo mostra la figura, il vapore entra da *x*, e senza potere espandersi nel secondo scompartimento, passa al dissopra dello stantuffo P, il quale, venendo così premuto, si abbassa, e spinge l'aria od il vapore che tien sotto. Questo, essendo aperto il foro *b*, si porta nello scompartimento maggiore, senza intromettersi nell'altro, e pel foro *r* trova uno sfogo nel condensatore o nell'atmosfera. Ognuno intende che dovrà avvenire il contrario, e lo stantuffo P si alzerà, quando sia aperto il

foro y e chiuso x, cioè quando i piccoli stantuffi sieno passati nelle posizioni *s, s'*.

Alla notizia che avete del *distributore di Watt*, potete aggiungere quella di un altro distributore imaginato da Papin, e conosciuto nella scienza sotto il nome di *rubinetto a quattro fori*. Il vapore partito dalla caldaja K (fig. 567), entra nella camera superiore o nella inferiore del cilindro. a seconda della posizione di un rubinetto H, che si trova alla fine del tubo C. Questo rubinetto è un cilindro massiccio, nel quale sono praticati due canaletti curvi e trasversali, e disposto in modo da poter girare attorno al proprio asse. Nella posizione H del rubinetto, il vapore passa al dissotto dello stantuffo S pel condotto A, mentre il vapore che si trova al dissopra del medesimo stantuffo, pel tubo B sfugge nel condensatore D, o nell'atmosfera. Al contrario, quando il rubinetto è nella posizione H', il vapore della caldaja entra al dissopra dello stantuffo S, e quello che occupa l'altra parte del cilindro si porta nel condensatore D, od esce dall'apparato.

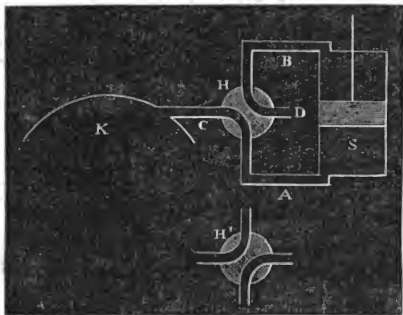



Fig. 567.

L'ultimo distributore, di cui intendo di parlarvi, è quello che si denomina *valvola a cassetta,* od *a cappello.* Essa risulta da una cassetta A (fig. 568) a lembi ripiegati, in guisa da assomigliare alle ali di un cappello, che debbono scivolare a tenuta di vapore sul piano forato, ove trovansi le tre luci B, C e D: le prime due ammettono il vapore alle camere del cilindro, e la terza gli apre uno sfogo nel condensatore, oppure nell'aria esterna. La valvola a cappello descritta si move entro un'altra cassetta maggiore, detta la *scatola del vapore,* ove giunge il vapore pro-

veniente dalla caldaja. È naturale che quando la valvola ha la posizione rappresentata dalla figura 568, il vapore entra nel tubo B, e di qui nella parte superiore del cilindro; mentre il vapore che sta sotto allo stantuffo, dal tubo C, passa nella capacità A della valvola, e poscia, pel foro D, nel condensatore od all'esterno. Allorchè invece la valvola è situata come mostra la figura 569, il vapore della caldaja si espande nel tubo C, e da qui va a premere la superficie inferiore dello stantuffo; ed il vapore della camera superiore del cilindro si porta nella valvola A, ed esce dal foro D. Importando poi che il vapore cessi di entrare in una camera del cilindro avanti che cominci a penetrare nell'altra, le dimensioni della cassetta A sono fissate in modo che, prima di mettere C in comunicazione colla scatola del vapore, si chiuda B (fig. 570), o viceversa prima di aprire a B la stessa comunicazione venga otturato C (fig. 571). Questa foggia

Fig. 568. Fig. 570. Fig. 569. Fig. 571.

di distributore è d'ottimo effetto, e molto usata nelle locomotive. Chicchessia intende che una volta che il cilindro sia munito di uno dei descritti distributori del vapore, il movimento dello stantuffo è tutt'altra cosa di quello di una macchina a semplice effetto, ha cioè nel suo periodo tutta la regolarità che si può desiderare.

626. **Regolatore a forza centrifuga**. Questo però non vale ad impedire che la velocità dello stantuffo cresca o diminuisca da un periodo ad un altro, dipendendo ciò dalla quantità e dalla tensione del vapore che dalla caldaja affluisce al cilindro. Se non che una bella idea balenò alla mente di Watt, e fu quella di disporre le cose in modo che l'apertura, destinata ad ammettere il vapore nel congegno di distribuzione, variasse a misura della quantità e della tensione del vapore stesso. L'ap-

parato, che serve a questo fine, consiste in due sfere metalliche molto pesanti (fig. 572), sospese, per mezzo di due aste articolate in A, ad un albero verticale, cui la macchina imprime un moto rotatorio. Due altre aste BD e CD sono articolate ad una estremità colle prime due, ed all'altra con un anello D, che può scorrere lungo l'albero. Le quattro sbarre formano così un rombo, il quale tanto più s'approssima alla figura d'un quadrato quanto più lontane riescono le due sfere, ossia quanto più alto è l'anello D. A questo medesimo anello si congiunge un braccio di una leva, che coll'altro braccio agisce sopra una chiave applicata al tubo che trasmette il vapore dalla caldaja al distributore. Una tale chiave non è altro che un disco adattato ottimamente alla larghezza del tubo, mobile intorno ad un suo diametro, e collegato alla leva in modo

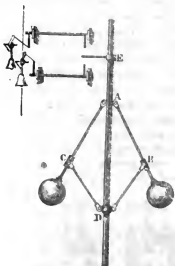
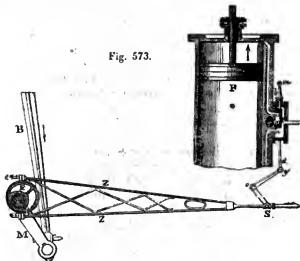



Fig. 572.

che, elevandosi l'anello D, s'avvicina ad essere perpendicolare all'asse del tubo ed arriva a chiuderlo esattamente; ed invece, quando l'anello D si abbassa, esso tende a divenire parallelo alla lunghezza del tubo. Ciò posto, ognuno s'accorge che, se aumenta la velocità della macchina, per l'accresciuta tensione del vapore, le due sfere metalliche, partecipando del movimento, debbono per effetto di forza centrifuga allontanarsi, ed alzare l'anello D. Allora la valvola del tubo viene ad essere vieppiù inclinata, e riesce impiccolita l'apertura d'ammissione del vapore. Il contrario avviene allorchè la macchina ritarda; sicchè la grossezza della corrente aeriforme, che passa dalla caldaja al distributore, aumenta o diminuisce in ragione inversa della tensione e della velocità, e per conseguenza lo stantuffo in tutti i periodi del suo movimento riceve costantemente impulsi eguali. In qualche caso, essendo il regolatore privo della valvola di freno, sopra l'anello D si fissano due aste verticali, le cui estremità superiori si collegano con un secondo anello E, che perciò viene a partecipare ai movimenti del primo. L'anello E porta un'asta orizzontale che, abbassandosi od elevandosi al di là di certi limiti, per un ritardo od un acceleramento eccessivo della macchina, urta contro l'una

o l'altra delle leve di due campanelli a suono diverso, e così avvisa che il movimento della macchina ritarda od accelera troppo.

627. **Eccentrico.** Rimane ora a sapersi come la macchina metta in moto la parte mobile del distributore, cioè l'asta *d* nel primo, il rubinetto H nel secondo, e la valvola A nel terzo dei distributori che vi ho descritto. L'artificio più comunemente in uso per raggiungere questo effetto, è quello dell'*eccentrico*. Si chiama così un disco metallico E (fig. 573), traversato dall'asse A

Fig. 573.

dell'una o delle due ruote della macchina, ma non già nel centro, sibbene un po' più presso alla circonferenza. Al girare dell'asse A, l'eccentrico va pertanto sporgendosi ora di qua ed ora di là, con mutazioni tanto più notevoli quanto maggiore è l'eccentricità, ossia quanto più lontana dal centro è la parte nella quale l'asse lo attraversa. La superficie curva dell'eccentrico è circondata da un anello piatto, composto di due mezzi anelli, con orecchie sporgenti alle estremità, affinchè, per mezzo di viti che le traversano, si possa aumentare o diminuire la grandezza dell'anello, ma sempre in modo che esso possa scivolare lungo la superficie dell'eccentrico. A ciascheduna delle due coppie di queste orecchie vien poi fermata un'asta Z, Z, le quali in S si congiungono assieme all'estremità di una leva a gomito, avente il fulcro in *o*, e unita per l'altro estremo *y* all'asta *d*, articolata in *m* coll'asta *b* della valvola a cappello. Si scorge ora che, quando l'asse A, e con esso l'eccentrico E, girerà, l'estremità S

del sistema delle due aste, che è attaccato all'anello, verrà spinta alternativamente a destra ed a sinistra, e per conseguenza il punto y, ed insieme l'asta d, sarà elevato e successivamente abbassato, e quindi la posizione della valvola a cappello potrà cambiare in quella maniera che fa bisogno. Tutta l'arte consisterà nel dare all'eccentrico il grado di eccentricità necessario, per spostare il cappello nè più nè meno di quel che fa d'uopo. Finora abbiamo supposto che l'eccentrico fosse applicato alla valvola a cappello, ma ognuno facilmente intende che si otterrà il medesimo effetto, qualora l'asta d della valvola a cappello sia surrogata dall'asta del distributore di Watt, oppure si imagini che il braccio oy divenga un raggio del rubinetto H (fig. 567) nel distributore a quattro fori.

628. **Trasformazione del movimento alternativo dell'estremità dello stantuffo in moto circolare.** Trovato il modo d'avere dal vapore un movimento di saliscendi, è naturale che in moltissimi casi questo movimento, così come sta, può già servire all'industria; poichè, per esempio, le operazioni di segare, di limare, di battere, di cavar acqua, consistono d'ordinario in un semplice movimento alternativo rettilineo. Nondimeno è assai più frequente il caso che si desideri di trasformare il moto di va e vieni in un moto di rotazione: tanto più che, quando si abbia un albero che gira continuamente in un verso, niente è più facile che trasformare alla sua volta questo movimento in mille altri modi. Per raggiungere questo intento all'estremità B (fig. 574) dell'asta dello stantuffo, mediante una

Fig. 574.

articolazione o snodatura, si congiunge un'altra asta, detta la *biella*, la quale si unisce allo stesso modo con una *manovella* attaccata all'albero D della ruota, che si vuol mettere in movimento. Di tal maniera, mentre lo stantuffo si muove in un senso, l'estremità della manovella descrive una mezza circonferenza, e quando esso cammina nel senso contrario, il medesimo punto percorre l'altra mezza circonferenza, e così la ruota gira; e ciò avviene senza che l'asta dello stantuffo s'inclini da una parte

o dall'altra, giacchè in grazia delle due articolazioni non è obbligata a star sempre nella medesima direzione colla biella. Per assicurare poi viemeglio il moto rettilineo dello stantuffo, giova che l'asta di esso porti alla sommità un prisma, che può scorrere, nel senso in cui si move l'asta medesima, fra due sbarre rettilinee fisse EE, dette le *guide*, senza deviare dall'una o dall'altra parte.

In qualche caso si trasforma il movimento rettilineo dello stantuffo in un moto di rotazione, anche senza l'intermezzo della biella, e solo pel beneficio della manovella, congiunta coll'estremità dell'asta motrice (fig. 575), sospendendo il cilindro ad un asse E, intorno al quale esso oscilla. Anche in questa maniera l'asta dello stantuffo, mantenendosi pure nell'asse del cilindro, può assecondare nello stesso tempo il moto della manovella. Quando si adotta questa disposizione, la macchina si chiama *a cilindro oscillante.*

Fig. 575.

629. **Parallelogrammo di Watt.** Se il movimento dello stantuffo dev'essere trasmesso alla biella per l'intermezzo di un bilanciere, somigliante a quello BB (fig. 565) della macchina a semplice effetto di Watt, bisogna aggiungere ancora una cosa al meccanismo. Qualora l'asta dello stantuffo si unisse immediatamente ad una estremità del bilanciere, e la biella si congiungesse coll'altra, è chiarissimo che, siccome l'estremità del bilanciere, movendosi, descrive un arco di circonferenza, così l'asta dello stantuffo, per seguitarne il movimento, dovrebbe inclinarsi or dall'una ed or dall'altra parte. Per rimediare a questo inconveniente, Watt imaginò il notissimo suo *parallelogrammo.* Supponiamo che O (fig. 576) sia il fulcro del bilanciere: al punto di mezzo C della semilunghezza del bilanciere, ed all'estremità A uniamo, per mezzo di una articolazione o snodatura, due pezzi egualmente lunghi CD ed AB, e congiungiamo allo stesso modo i loro estremi D e B con una terza asta DB, in modo da costituire un parallelogrammo ACDB. Per

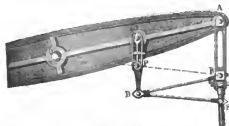



Fig. 576.

poco che si rifletta, s'intende che se nel movimento del bilanciere, mentre il punto C descrive un arco di circonferenza di raggio OC, si obbliga il punto D a moversi parimenti lungo un arco eguale, il punto di mezzo F dell'asta CD percorrerà una linea retta. Imperocchè nell'ipotesi fatta, quando, per esempio, il bilanciere va dall'alto al basso, il punto C si sposta a sinistra per una certa quantità, ed il punto D invece si porta a destra per un tratto eguale, e per conseguenza il punto di mezzo F non devia nè dall'una nè dall'altra parte, ma cammina lungo una linea retta. Ma se F descrive una linea retta, anche il punto B si troverà nella medesima circostanza; giacchè questo punto, nelle proporzioni date all'apparato, percorre una linea parallela al cammino di F. Infatti i tre punti O, F, B, nel movimento del sistema, si mantengono in linea retta; perchè AB, eguale a CD, è doppio di CF, ed anche OA è doppio di OC. Onde il punto B si mantenga sulla linea OF, essendo fisso il punto O, deve camminare in direzione parallela ad F. Se pertanto, stando le cose come le abbiamo supposte, al punto B si congiunge l'asta dello stantuffo, saremo certi che dessa potrà moversi in linea retta, indipendentemente dal movimento curvilineo del bilanciere. Tutta l'arte adunque di ottenere questo effetto si riduce a determinare il moto circolare del punto D. Ma chi non vede che a ciò basta unire al punto D l'asta ED articolata in E? Ed ecco che allora l'effetto del parallelogrammo sarà completo.

630. **Volante.** Qualunque però sia il congegno adoperato a trasmettere il moto dello stantuffo ad una ruota, qualora la macchina fosse quale potete ora imaginarla da voi stessi, dessa non avrebbe un movimento uniforme, supponendo pure che tale sia (per effetto del distributore) il moto dello stantuffo; giacchè la manovella non è sempre egualmente favorevole all'azione della macchina. Quando la biella è presso che perpendicolare alla manovella, la macchina ha la massima efficacia per movere la ruota; ma questa efficacia va indebolendosi a misura che la manovella si appressa ad essere sulla stessa direzione della biella, ed allora la macchina non ha assolutamente alcuna forza per girare la ruota; sicchè se, per ipotesi, la macchina al primo moto dello stantuffo si trovasse in tale posizione, essa non potrebbe moversi. È vero che, a movimento stabilito, la manovella oltrepassa per inerzia queste due posizioni, che i pratici chiamano *punti morti* o *istanti critici;* ma ciò non toglie che il moto della ruota vadi periodicamente cambiando di velocità. Per rimediare a questo inconveniente, generalmente si danno alla macchina due cilindri, due stantuffi, e quindi due manovelle disposte fra loro ad angolo

retto, di maniera che quando l'una è perpendicolare alla propria biella, l'altra sia parallela, e perciò mentre l'una si trova in un istante critico, l'altra è ad uno dei punti di massima forza. Tuttavia, quando ciò non sia possibile, oppure si esiga una somma regolarità nel moto della macchina, all'albero principale di essa si applica un *volante*, cioè una ruota di gran diametro e di molta massa, la cui parte principale è regolarmente distribuita lungo la circonferenza. Le differenze di velocità nel movimento periodico della manovella, e tutti gli altri cambiamenti che possono avvenire nella grandezza della potenza e della resistenza, si distribuiscono nella massa del volante, e così fra certi limiti hanno poca o nessuna influenza sulla regolarità del moto della macchina. Si dice pertanto che il volante è per la macchina un *serbatojo di moto;* giacchè quando l'efficacia del motore diminuisce, il volante, che possiede tutta la quantità di moto ricevuta precedentemente, continua a girare l'albero a cui è annesso, con eguale o ben poco diversa energia; e se l'azione del motore accresce, dovendo l'aumento ripartirsi a tutti i pezzi che si movono simultaneamente, ogni parte ne riceve una porzione tanto minore quanto maggiore è la massa del volante.

631. **Macchina a doppio effetto di Watt.** Conosciuti una volta gli elementi essenziali di una macchina a doppio effetto, adesso possiamo supporre di metterli assieme nella maniera concepita da Watt. La figura 577 ve ne mostra il disegno.

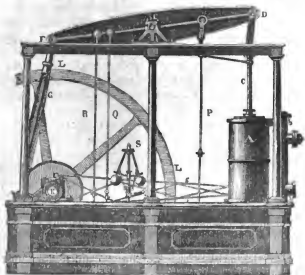



Fig. 577.

Il vapore della caldaja, pel tubo *a*, arriva al distributore *bb*, e di qui entra nell'una o nell'altra delle due camere del cilindro A, e poscia, per dissotto, si porta nel tubo *d* (fig. 578) e nel con-

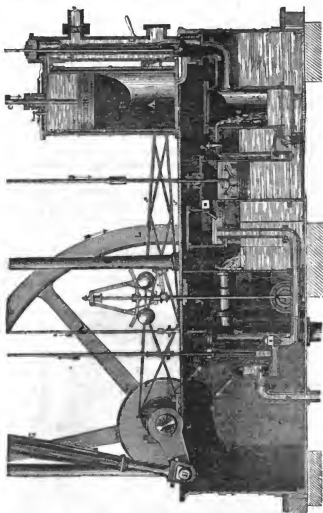



Fig. 578.

densatore *e*. Il movimento, così prodotto nell'asta C (fig. 577) dello stantuffo, viene, per mezzo del parallelogrammo, comunicato all'estremo D del bilanciere DF, alla biella G ed alla manovella fissata all'albero principale K della macchina. A questo

medesimo albero è applicato il volante LL, e l'eccentrico, che, mediante il sistema *ss*, serve a movere l'asta del distributore. In S è rappresentato il regolatore a forza centrifuga, mosso dall'albero principale K della macchina (fig. 578) per l'intermezzo di una correggia *x* senza fine (114), e coll'asta *z* unito ad un sistema di leve applicato alla valvola che si vede presso *o*. La chiave *g* serve a regolare il getto dell'acqua fresca, che dal tino passa nel condensatore *e*. Questo tino viene alimentato dalla tromba *q*, che, mossa dal bilanciere, a cui si congiunge per mezzo dell'asta Q (fig. 577), estrae l'acqua da un pozzo o da qualunque altra sorgente, e la porta nel tubo F (fig. 578). L'acqua calda, che si accumula nel condensatore, lungo la valvola *k*, è aspirata nel recipiente laterale e condotta all'esterno dalla tromba ad aria *h*, unita parimenti al bilanciere per l'asta P (fig. 577). Una porzione di quest'acqua però è tratta nel tubo *nn* (fig. 578), per effetto della tromba alimentatrice *m* (la cui asta nell'altra figura è rappresentata in R), e spinta nell'atto medesimo nel tubo *ap*, da cui passa nella caldaja a risarcire il consumo dell'acqua che si cambia in vapore.

La macchina di Watt venne in seguito modificata: se ne costruirono altre più semplici, che però non differiscono essenzialmente da essa. Attualmente le macchine in uso sono quasi sempre ad alta pressione, e senza condensazione; ed alle diverse parti del congegno si danno disposizioni variate a mille guise, secondo l'intento a cui deve servire e secondo le località. Quanto vi ho esposto può darvi una idea abbastanza esatta del principio fondamentale; e con ciò io credo d'aver adempito al mio assunto. Passo pertanto alla descrizione delle macchine locomotive.

632. **Locomotive.** Nelle locomotive mancano il bilanciere, il parallelogrammo, il volante ed il moderatore a forza centrifuga: vi sono due cilindri, somiglianti a quelli delle altre macchine, e per conseguenza due stantuffi e due aste che, per mezzo delle rispettive bielle, si uniscono alle manovelle fissate alle due ruote motrici: la disposizione del generatore però è cambiata. Esso è pure di forma cilindrica, ma non ha i bollitori; ad un estremo si estende in modo da circondare per ogni parte una cavità M (fig. 579), eccetto che al basso. Questa cavità è il *focolare*. L'apertura *q* serve a gettare il combustibile sul fondo traforato di M, o *grata*, ove l'aria arriva da una larga apertura, che si trova fra la grata ed il ceneratojo, e può variare di grandezza od anche essere chiusa. Onde aumentare la superficie dell'acqua a contatto del fuoco, la parte inferiore della caldaja

è attraversata da molti tubi robustissimi, che si denominano *le canne a fuoco*, le quali dal focolare vanno all'estremità opposta della caldaja. La fiamma passa per questi tubi ed esce nella

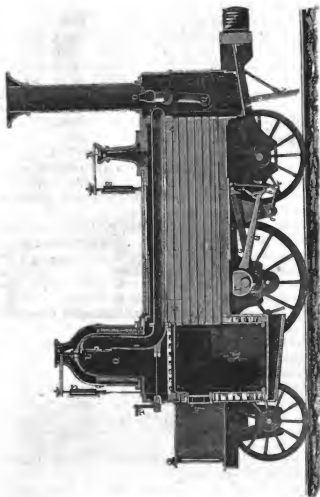



Fig. 579.

cassa del camino. La parte superiore della caldaja comunica colla *torre a vapore* O, dalla cui sommità parte il *tubo a vapore* I, che attraversa longitudinalmente la caldaja, ed arrivato alla

cassa del camino si biforca e termina nei due distributori *a cappello*, uniti ai due cilindri della macchina. Il vapore, dopo d'aver servito a movere gli stantuffi, sfugge per due condotti, che partono dalla cassetta del distributore, e si riuniscono (fig. 580) alla base del tubo del camino ove sboccano; e così il vapore adempie ad un altro officio, cioè a quello di attivare la corrente dell'aria nel camino, e per conseguenza anche la combustione nel focolare. Per regolare il passaggio del vapore dalla caldaja alla macchina propriamente detta, alla base della torre a vapore è fermato un cerchio, che ne occupa tutta la sezione, ed è diviso, da due diametri perpendicolari, in quattro parti eguali: due opposte sono aperte, e le altre due otturate. Al dissopra di questo disco forato havvene un altro eguale al primo, e capace di girare sopra di esso: il macchinista lo può movere per mezzo del manubrio T (fig. 579). Ciò posto, chicchessia indovina il buon effetto di questo semplicissimo congegno. Quando le aperture dei due dischi coincidono esattamente, entra nella macchina la massima quantità di vapore; e se invece il disco mobile dista da questa posizione per un quarto di giro, viene interrotta ogni comunicazione fra la caldaja ed il cilindro: mantenendo pertanto il congegno in una posizione intermedia, più o meno lontana dall'uno o dall'altro limite, si può variare moltissimo la quantità di vapore che si ammette nella macchina.

Fig. 580.

Il distributore di ciascheduno dei due cilindri è qui ancora mosso per effetto di un eccentrico F, posto sull'asse della ruota principale. L'asta G di questo eccentrico termina in una forchetta *b*, che nel suo moto alternativo afferra l'estremo inferiore di una leva H (fig. 582), e, spingendolo innanzi od indietro, move in senso contrario l'asta K del cappello chiuso nella scatola L. Importando però che la macchina sia capace di assumere tanto il moto diretto quanto il retrogrado, si dà alla cosa una disposizione un po' diversa da quella che potete

imaginarvi per quanto vi ho detto. Sull'alberod ella ruota principale, per ogni distributore, si fermano due eccentrici, in posizioni opposte, di maniera che le due aste annesse non sono mai spinte contemporaneamente nel medesimo senso. Queste aste terminano pure in due forchette *b* e *b'* (fig. 579), ma disposte in senso contrario (in modo cioè che l'apertura dell'una si rivolga all'alto, e quella dell'altra guardi al basso), e sostenute ad una certa altezza da una leva angolare *cde*, alla quale si uniscono ambedue con un tirante. La leva *cde* ha il fulcro in *d*, ed il macchinista può moverla per mezzo di una seconda leva angolare, articolata in *c*, il cui braccio maggiore, che si allunga fino al dissopra del focolare, è figurato in *f*. Le due forchette *b* e *b'*, sotto l'impulso della leva *cde*, possono successivamente imboccare il bottone applicato sull'estremità inferiore della leva H (fig. 582). Se pertanto il macchinista gira la leva *cde* in un senso o nel senso opposto, sicchè il cappello del distributore passi avanti od indietro nella scatola, e per conseguenza il vapore cominci ad entrare nel cilindro ed a premere lo stantuffo dalla parte anteriore o dalla posteriore, la macchina naturalmente si moverà in una direzione o nella direzione opposta. Attualmente si dà al meccanismo un'altra disposizione. Invece di dare una forchetta ad ognuna delle aste dei due eccentrici, si uniscono queste due aste G e G' (fig. 581), per mezzo di una

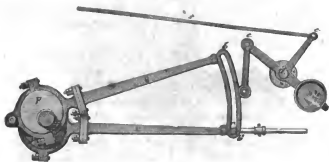



Fig. 581.

piastra avente la forma di un arco di cerchio, nella quale è praticata una fessura simile *bb'*. In questa fessura può scivolare il bottone *m* dell'estremo di H (fig. 582). Si capisce come, portando innanzi od indietro l'asta *f*, il punto *e* si sposta con essa, ed il punto *c* della leva, mobile intorno a *d*, si alza, oppure si abbassa; e per conseguenza il bottone *m*, ed insieme il braccio

della leva a cui è unito, si porta sulla direzione dell'una piuttosto che dell'altra delle aste GG′ dei due eccentrici. Tali aste si movono in senso contrario, e il bottone *m* si sposta con quella sulla cui direzione esso si trova, quindi si porta innanzi od indietro a seconda che si move coll'asta che va innanzi, oppure con quella che torna indietro.

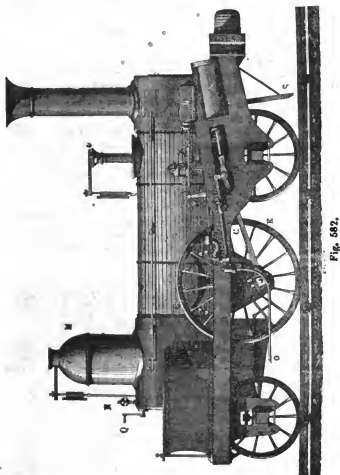



Fig. 582.

Una locomotiva è provveduta, come ogni altra macchina, di un tubo a livello e delle chiavi di prova, onde si possa conoscere ad ogni istante il livello dell'acqua nella caldaja; ha pari-

menti un manometro che indica la tensione del vapore; e porta due valvole di sicurezza RR (fig. 579), caricate da due molle a spira SS. In N (fig. 582) è rappresentato un fischietto che serve per avvisare dell'arrivo della macchina: è simile a quello del galleggiante a fischio d'allarme già descritto, ma ha per soprappiù un rubinetto, che può essere aperto ad arbitrio del macchinista. L'acqua proveniente dal tubo OO, congiunto al serbatojo, posto sulla locomotiva di provvigione, detta il *tender*, entra nella caldaja pel tubo *p*; e vi è spinta da una tromba alimentatrice collocata fra il tubo OO ed il tubo *p*. Il corpo di una simile tromba è un vaso ABCD (fig. 583), in cui termina il tubo OO, e comincia il tubo *p*. Dal mezzo del recipiente parte il tubo EF, entro cui scorre uno stantuffo S, la cui asta *m* è unita colla biella della macchina. Da una parte e dall'altra della bocca del tubo EF, nel corpo di tromba, vi sono due valvole composte *q* ed *n* a palla ed a sportello (183). Quando lo stantuffo S è tratto verso l'esterno, l'acqua del tubo O penetra in E; e quando invece quello stantuffo è spinto in senso contrario, l'acqua è sollevata in *p*.

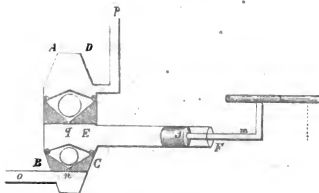
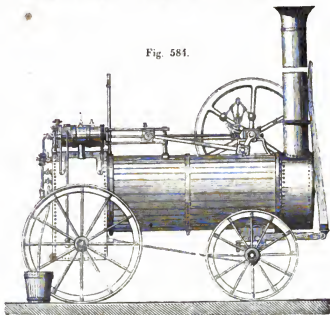



Fig. 583.

La macchina locomotiva descritta fu imaginata da Stephenson: però la bella idea di attraversare la caldaja con una serie di tubi, onde accrescere la superficie dell' acqua a contatto della fiamma, è di Seguin.

Macchine locomobili. Una macchina fissa fatta in modo da poter essere facilmente trasportata da un luogo ad un altro, ossia

disposta sopra un carro ordinario a quattro ruote, chiamasi *locomobile.* La figura 584 ve ne rappresenta un esempio.

Fig. 584.

633. **Lavoro motore, teorico — ed effettivo.** Per giudicare dell'importanza di una macchina, bisogna calcolare il lavoro, ossia il numero di chilogrammetri, ch'essa vale a compiere in un tempo determinato. Ciò lo si può fare *teoricamente,* quando si conoscano le dimensioni del cilindro e la tensione del vapore; oppure *esperimentalmente,* per mezzo del freno dinamometrico (226): nel primo caso si ha il lavoro motore teorico, e nel secondo si ottiene il lavoro motore effettivo. Ma ciò non basta a fare un giudizio esatto della cosa: a questo fine bisogna anche confrontare l'effetto che può produrre la macchina con quello che la macchina consuma; cioè conviene computare l'*effetto utile* della macchina, il quale è tanto maggiore quanto più grande è il lavoro eseguito e minore la spesa.

Vantaggi relativi della condensazione. Dopo ciò, s'intende facilmente come la condensazione sia per sè stessa utile alla macchina. Imperocchè, lo stantuffo si move per la differenza delle pressioni esercitate sulle sue superficie; è quindi naturale che, condensando il vapore davanti allo stantuffo, il movimento di

questo viene accelerato, senza bisogno di aumentare la tensione del vapore movente, e quindi senza accrescere la quantità di combustibile consumato. La differenza che risulta fra le tensioni del vapore alle due superficie dello stantuffo, per la condensazione eseguita a un lato, evidentemente è proporzionale alla rapidità della condensazione, e per conseguenza è tanto maggiore quanto più freddo è il condensatore. Ma non è lo stesso del vantaggio che ne proviene alla macchina; giacchè, abbassando vieppiù la temperatura del condensatore, accresce peraltro la quantità di acqua che vi si accumula, quindi anche la forza che la macchina deve consumare per estrarre quest'acqua. Si stima che l'effetto migliore si ottenga quando il condensatore abbia una temperatura costante da 30° a 35°. Per questo medesimo motivo, elevandosi di molto la tensione del vapore nella macchina, diminuisce il profitto che si trae dal condensatore. La tavola seguente mostra un confronto fra il lavoro prodotto da una macchina a condensazione e quello di un'altra priva del condensatore.

Tensione del vapore in atmosfere	Lavoro motore teorico in dinamodi di 1000 chilogrammetri prodotto da un chilogrammo di vapore		Differenza
	Con condens. completa	Senza condensazione	
1	17,66	0,00	17,66
2	18,54	9,27	9,27
4	19,62	14,72	4,90
6	20,36	16,96	3,40
8	20,90	18,29	2,61
10	21,35	19,22	2,13

Tensione del vapore in atmosfere	Effetto utile di una caloría in chilogrammetri		Differenza
	Con condens. completa	Senza condensazione	
1	27,57	0,00	27,57
2	28,81	14,40	14,41
4	30,17	22,63	7,54
6	31,07	25,89	5,18
8	31,75	27,78	3,97
10	32,27	29,05	3,22

Da ciò si deduce che: 1.° la condensazione è necessaria, come già abbiamo detto, quando la forza elastica del vapore non supera la pressione atmosferica. 2.° La condensazione è utile fino presso 6 atmosfere circa. Ma quando il vapore si produce con una tensione appena maggiore di 6 atmosfere, la condensazione non offre più un notevole vantaggio. Imperocchè l'eccesso di effetto utile ottenuto dalla condensazione (il quale è di chilogrammetri 5,18 pel caso in cui il vapore sia sottomesso alla pressione di 6 atmosfere), si perde in gran parte pel cambio dell'acqua nel refrigerante e per vincere l'ostacolo che lo stantuffo incontra sia nella tensione residua del vapore all'atto in cui esce dal cilindro, e sia nell'aria che svolgesi dall'acqua mano mano ch'essa arriva al refrigerante. Se però havvi abbondanza d'acqua che possa facilmente affluire al condensatore, si potrà ancora preferire la condensazione. Invece se l'acqua fosse scarsa, od importasse di dare alla macchina poco spazio, si dovrebbe adottare l'altro processo anche a tensioni più basse.

Vantaggi dell'espansione. Finora abbiamo tacitamente supposto che il vapore agisca sempre *per spinta,* cioè che esso seguiti ad entrare nella camera del cilindro, finchè lo stantuffo ha compita la sua corsa. Ma al medesimo scopo di ottenere un risparmio di forza, si pensò di disporre le cose in modo che il vapore cessi di entrare nel cilindro prima che lo stantuffo sia giunto alla fine della corsa, sicchè il movimento continui solo per *espansione* del vapore entrato nel cilindro. Così si ottiene un movimento più regolare nello stantuffo, e si ha un risparmio notevole di vapore e quindi di combustibile. Supponiamo che il vapore cessi di entrare nel cilindro, quando lo stantuffo è arrivato ai due terzi della sua corsa. Evidentemente si risparmia un terzo di vapore: è vero che diminuisce anche il movimento dello stantuffo; ma (si badi bene) questa perdita è minore del terzo della forza primitiva. Imperocchè nei primi due terzi della corsa la forza esercitata sullo stantuffo è precisamente la stessa, e questo ci assicura già i due terzi dell'effetto; e v'è poi da aggiungere il lavoro prodotto nel rimanente della corsa, il quale, sebbene sia molto minore di quello che corrisponde alla metà del primo periodo, pur basta a far sì che l'effetto complessivo, o *medio,* sia notabilmente maggiore dei due terzi dell'effetto che si avrebbe senza espansione. Non si creda però che questo aumento di forza lo si abbia in fin dei conti dal nulla: ognuno intende che il vapore espandendosi uscirà meno caldo dal cilindro, e per conseguenza l'acquisto fatto non sarà altro che l'effetto del calorico perduto dal vapore.

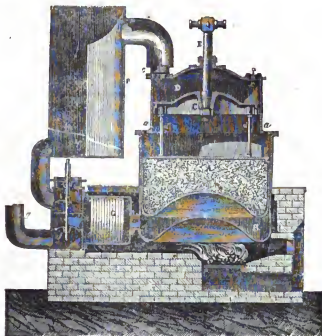
Onde il vapore per un certo tratto agisca ad espansione, si imaginarono diversi congegni. Il più semplice è quello di Clapeyron, il quale, facendo uso del distributore a cappello, fissa sugli orli del cappello medesimo due lamine M, M (fig. 585), la cui larghezza è molto maggiore di quella delle due luci B e C. Perciò ciascuna di queste due luci, quando dall'essere in comunicazione colla scatola del vapore passa a comunicare colla cassetta A, o viceversa da questa posizione passa a quella, rimane chiusa per un tempo più o meno lungo. In molte macchine poi il distributore è disposto in modo che l'espansione è variabile, e così, a seconda delle circostanze, si può cominciarla a un quarto, a un terzo, od a metà della corsa dello stantuffo.

Fig. 585.

654. **Macchine ad aria calda**. Sempre allo scopo di avere un vantaggio economico, si tentò di sostituire l'aria calda al vapore acqueo. Ericsson fu uno dei primi che fabbricasse per ciò una macchina, di cui intendo di parlarvi ora. Essa si compone di un gran cilindro BD (fig. 586), in cui possono scorrere due stantuffi A e C, rigidamente connessi per mezzo delle aste *dd*. A metà circa del cilindro BD, e proprio laddove viene limitata la corsa dello stantuffo A, vi sono due aperture *aa*, per cui la capacità interna comunica colla atmosfera; ed alla base superiore del medesimo cilindro sono applicate due valvole *c* ed *e*: la prima apresi dall'alto al basso, e serve parimenti a stabilire una via di comunicazione fra l'interno e l'esterno; e la seconda invece movendosi dal basso all'alto, si apre in un condotto che termina nel serbatojo cilindrico F, destinato a contenere aria compressa. Quest'aria, quando è aperta la valvola *b*, può penetrare nella parte inferiore del cilindro BD, traverso ad un sistema G di tele metalliche scaldate moltissimo; e viceversa, chiusa la valvola *b*, ed aperta la *f*, l'aria dal fondo del cilindro può sfuggire nell'atmosfera lungo il tubo *g*.

Ciò posto, s'indovina facilmente come sia prodotto il movimento dell'asta E, unita alla parte inferiore collo stantuffo C, ed all'alto coll'estremità di un bilanciere. Supponendo otturata la valvola *f*, e permesso il passaggio per la valvola *b* all'aria del serbatojo F, già calda, è naturale che questa, attraversando il sistema G, si riscalda vieppiù, e si porta al basso del cilindro BD, ove solleva lo stantuffo A ed insieme l'altro C. Allora l'aria, che si trova fra quest'ultimo stantuffo e la base superiore del cilindro, vien spinta traverso la valvola *e*, nel serbatojo F, e và a

surrogare l'aria di qui precedentemente uscita. Quando i due stantuffi hanno compità la loro corsa, la valvola *b* si chiude, ed in quella vece si schiude la valvola *f*; sicchè l'aria dal fondo del cilindro, trova pel tubo *g* uno sfogo nell'atmosfera, e mentre il sistema dei due stantuffi si abbassa di nuovo, obbedendo al proprio peso od anche ad un contrappeso, si ottura la valvola *e*, e si apre l'altra *c*: l'aria esterna ritorna ad occupare la parte superiore del cilindro, e le cose si stabiliscono come da principio. Al momento in cui lo stantuffo A stà per toccare il fondo, la valvola *f* interrompe ancora la comunicazione dell'interno coll'esterno, la valvola *b* ammette nuovamente l'aria di F in B, e lo stantuffo risale.

Fig. 586.

La macchina descritta è a semplice effetto; ma è manifesto che, applicandone un'altra all'estremità opposta del medesimo bilanciere, e disponendo le cose in modo che le due macchine agiscano alternativamente, si può ottenere un risultato analogo a quello di una macchina a doppio effetto.

Burdin e Bourget dimostrarono la pratica possibilità di sostituire l'aria calda al vapore, anche per movere le locomotive, ed il vantaggio economico che ne risulterebbe da questo cambio. Chi bramasse averne notizia legga i fascicoli del *Comp. Rend.* del 6 aprile 1863 - 4 genn. 1864 - 21 novemb. 1864 - e 10 aprile 1865.

CAPO TERZO

PROPAGAZIONE DEL CALORICO.

635. **In quanti modi il calorico si propaghi da un corpo ad un altro.** Il calorico si propaga da un corpo ad un altro in due diverse maniere: per *contatto* o per *raggiamento.* Dobbiamo qui studiare l'una e l'altra cosa nei due seguenti articoli.

ARTICOLO PRIMO

PROPAGAZIONE DEL CALORICO PER CONTATTO.

636. **Come si scaldino i corpi per contatto.** La comunicazione del calorico per contatto può, alla sua volta, effettuarsi in due modi, cioè: trasmettendosi il calorico da molecola a molecola, oppure passando successivamente le diverse molecole del corpo riscaldato al contatto della sorgente calorifica. Nel primo caso si dice che il calorico si propaga per *conducibilità,* ossia per attitudine del corpo, a trasmetterlo da una sua molecola ad un'altra, e nel secondo invece si dice che il calorico si comunica per *moto idrostatico.*

637. **Conducibilità dei solidi.** I corpi solidi, in generale, godono della massima conducibilità; ma non l'hanno però tutti eguale. In alcuni il calorico si propaga rapidamente, e questi si dicono *buoni conduttori del calorico;* ed in altri invece si trasmette adagio, e questi chiamansi *cattivi conduttori.* I metalli d'ordinario sono eccellenti conduttori del calorico: manifestano tuttavia notevoli differenze, come si conosce dalla tavola seguente:

Argento .	100,0	Ferro . .	11,9	Bismuto . .	1,8
Rame . .	73,6	Acciajo . .	11,6	Lega di Rose, composta di 1 di stagno, 1 di piombo e 2 di bismuto	2,8
Oro . .	53,2	Piombo . .	8,5		
Ottone .	23,6	Platino . .	8,4		
Zinco . .	19,0	Palladio .	6,4		
Stagno. .	14,5	Argentana .	6,3		

I marmi, le diverse pietre, la majolica, la porcellana, il vetro, i mattoni, l'argilla, ed in generale le terre cotte, sono mediocri conduttori del calorico; e pessimi sono i legni secchi, le ceneri, il carbone, la lana, la seta, il cotone, le piume, e quasi tutti i corpi porosi e finamente divisi. Anche i metalli ridotti in polvere perdono la loro facoltà di condurre bene il calorico; giacchè in tal caso, essendo divisa la massa, tra le varie parti havvi aria, che è un cattivo conduttore del calorico. In alcuni corpi, come nei cristalli, la conducibilità varia nelle varie direzioni del corpo, di modo che un medesimo corpo può condurre il calorico meglio in un senso che in un altro. Anche le piante conducono meglio il calorico nel senso dell'altezza, che non nelle direzioni perpendicolari a questa. Avviene pertanto che desse d'inverno perdono meno calorico, d'estate ne ricevono di più; perchè il terreno, col quale comunicano più facilmente, d'inverno è meno freddo e d'estate è più caldo dell'aria.

Per determinare i diversi gradi di conducibilità dei corpi, vi sono varj metodi, quali più, quali meno precisi. Il metodo più semplice è quello del senso del tatto. Tutti sanno che un corpo ci sembra caldo o freddo in quanto ci dà o ci leva calorico; sicchè un corpo, alla stessa temperatura, ci può parere ora caldo ed ora freddo, sol che varj la temperatura della nostra mano. È per questo motivo che l'acqua dei pozzi nell'estate appare fredda e nell'inverno calda, benchè sia sempre press'a poco alla stessa temperatura. Racconta il celebre Ulloa che quando due viaggiatori, l'uno partito dal porto di Guayaquil nel Perù, e l'altro disceso dai monti delle Ande, vengono ad incontrarsi nel medesimo tempo a Tarigagua, sentono la temperatura di questo luogo affatto diversamente. Quello che vien dai monti prova un tale caldo che ama vestirsi soltanto di leggerissimi abiti; l'altro trova un'aria così rigida ed un freddo così penetrante che si ricopre di vesti grossissime: al primo l'acqua del fiume riesce caldissima, ed al secondo quest'acqua medesima pare cotanto fredda che gli spiace tuffarvi la mano. Ciò dipende dall'esser stato l'uno accostumato ad una temperatura più bassa, e l'altro ad una più alta di quella del luogo ove si trovano. Ma nè tutti i corpi che si trovano ad una stessa temperatura inferiore a quella della nostra mano ci sembrano egualmente freddi; nè tutti quelli che sono ad una medesima temperatura più alta della nostra ci appajono egualmente caldi. Così, a pari temperatura, un metallo ci sembra di gran lunga più freddo o più caldo di un legno. Già s'intende esser questo un effetto della diversa conducibilità dei due corpi, ossia della prontezza colla quale la massa del

corpo leva o dà calorico alla parte toccata dalla nostra mano. Di qui appare che toccando contemporaneamente due corpi, potremo decidere del più o del meno di conducibilità, dalla sensazione che ne abbiamo. Però, onde giudicare rettamente, è d'uopo che i due corpi sieno ad eguale temperatura (cioè a quella dell'aria ambiente), e sufficientemente estesi, affinchè nelle parti lontane dal contatto si mantengano alla temperatura del luogo.

Termometro di contatto. Un altro metodo assai comodo, specialmente per conoscere la conducibilità delle stoffe e delle lamine, è quello dell'uso d'uno strumento imaginato da Fourier, e da lui appellato *termometro di contatto*. Consiste questo in un tronco di cono cavo, formato di ferro, chiuso alla base inferiore da una pelle sottile, che vi sta tesa, e terminato alla parte superiore da un tubo similmente di ferro. Il vaso che ne risulta è ripieno di mercurio, ed ha in mezzo un termometro, che col bulbo discende fin verso la metà della parte conica. Per usarlo, si riducono i corpi da cimentarsi alla forma di lamine sottili, e quindi si pongono sopra un piano di marmo; poscia vi si soprappone lo strumento, riscaldato precedentemente sino ad una temperatura determinata; ed in fine si osserva il tempo che esso impiega a raffreddarsi di un certo numero di gradi: quanto maggiore è questo tempo, tanto minore è la conducibilità. È però da notarsi che anche questo metodo, come il precedente, non può dare che il più ed il meno, ma non già le conducibilità espresse in numeri.

Apparato d'Ingenhousz. Per determinare i rapporti numerici delle conducibilità qualche volta si adopera l'apparato d'Ingenhousz. Figuratevi una cassetta di latta, in una parete della quale siano fatti alcuni forellini, tutti alla stessa altezza, ed in essi siano piantati altrettanti cilindretti di materia diversa (fig. 587). Questi cilindretti abbiano tutti eguale la grossezza e la lunghezza, e siano coperti di uno strato sottile ed uniforme di cera. Quando si riempie la cassetta di acqua bollente, la cera non si fonde colla stessa rapidità e nella stessa quantità su tutti i cilindretti: quelle sostanze che sono buone conduttrici trasmettono ben presto il calorico loro comunicato dall'acqua, e la cera si fonde con maggior rapidità ed a maggior distanza dalla cassetta, che non sulle altre.

Fig. 587.

Apparato di Despretz. Il metodo d'Ingenhousz sarebbe quanto facile altrettanto esatto, se il calorico che penetra in un corpo da

un lato si trasmettesse totalmente nell'interno del corpo, e non si disperdesse anche parzialmente all'esterno. Ma siccome i corpi che meglio conducono il calorico, scoprendosi pei primi e per quantità maggiore, perdono calorico per raggiamento più degli altri, così il confronto non può essere rigorosamente esatto. Epperò Despretz faceva uso di una sbarra prismatica (fig. 588), in cui erano praticate, di decimetro in decimetro, alcune piccole cavità; riempiva di mercurio queste cavità, in ciascuna di esse immergeva un termometro, e poi scaldava un estremo della sbarra. Allora, com'è manifesto, le colonne termometriche ascendevano successivamente, partendo dalla parte scaldata, e si fermavano ad altezze fisse, ma decrescenti. Variando le sbarre, il mercurio, nei diversi termometri, si alzava a punti diversi, e da ciò Despretz deduceva il relativo grado di conducibilità della sostanza di cui erano formate le sbarre.

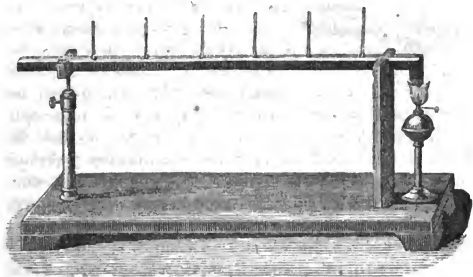



Fig. 588.

Legge. Per ogni spranga poi Despretz verificò la legge enunciata per la prima volta da Lambert di Berlino, che « quando le distanze dalla sorgente crescono in progressione aritmetica, gli eccessi di temperatura sull'aria ambiente decrescono in progressione geometrica ». Questa legge però non si verifica rigorosamente che per alcuni metalli, quali l'oro, l'argento, il platino ed il rame; essa è soltanto approssimativa per gli altri metalli; e non può per nulla applicarsi ai corpi non metallici.

638. **Conducibilità dei liquidi**. I liquidi, generalmente, sono cattivi conduttori del calorico. Si può verificarlo in diverse maniere. Se, per esempio, in un vaso pieno d'acqua si mette al fondo un termometro, ed alla superficie s'immerge un altro vaso che contenga acqua bollente od olio scaldato a 200° o 300°,

si osserva che il termometro inferiore si scalda pochissimo. Un'altra esperienza, a prima giunta molto strana, che serve a provare la stessa cosa è quella di collocare un pezzo di ghiaccio al fondo d'un tubo di vetro, pieno d'acqua (fig. 589), e poi di riscaldarlo all'estremità superiore con una fiamma ad alcool, tenendolo leggermente inclinato. Se il tubo è un po' lungo, l'acqua all'alto arriva a bollire, prima che il ghiaccio si fonda. Che se i liquidi esposti al fuoco, nella maggior parte dei casi, si scaldano prontamente, ciò non avviene per conducibilità, ma *per moto idrostatico.* Imperocchè il modo ordinario di scaldare un liquido è d'applicare il fuoco dissotto al vaso che lo contiene; quindi gli strati al fondo, divenuti più leggeri pel calorico ricevuto, si innalzano, ed al loro posto concorrono altri strati ancora freddi: e così nasce una vera circolazione di liquido caldo che sale da un lato, e di liquido meno caldo che scende dall'altro. Questo movimento interno di un liquido che si scalda si può rendere visibile, versandolo in un vaso di vetro, e mischiandovi qualche polvere che vi stia sospesa. Tosto che viene acceso il fuoco sotto al vaso (fig. 590), si scorgono le correnti che ascendono e quelle che discendono. Per conseguenza, applicando il fuoco ai liquidi in modo da impedire il movimento idrostatico, come abbiamo fatto nelle due precedenti esperienze, si vede ch'essi tardano molto a scaldarsi. Quantunque però sia debolissimo il poter conduttore dei liquidi, esso non è affatto nullo, come voleva Rumfort. Diffatti, se in un vaso di notevole altezza pieno d'acqua, si dispongono alcuni termometri a diverse profondità, e sulla superficie del liquido si versa e si accende uno strato di alcool, si osserva che, sebbene lentamente, pure anche i termometri i più bassi, nel seguito dell'esperimento indicano un piccolo aumento di temperatura. Anzi Despretz, con una esperienza analoga trovò che il calorico si propaga nei liquidi colla stessa legge che nelle sbarre metalliche, quantunque la loro conducibilità sia incomparabilmente minore.

Fig. 589.

Fig. 590.

Un fatto poi che prova evidentemente come lo stato liquido non sia incompatibile colla conducibilità pel calorico, è che il mercurio si mostra dotato, per un buon grado, di questa proprietà. Novelle esperienze, ideate da Gripon (*Comp. Rend.*, 9 luglio 1866), mostrarono che il poter conduttore del mercurio è 0,407 di quello del piombo; e confrontandolo, come si fa d'ordinario, colla conducibilità dell'argento, rappresentata da 100, esso sarebbe espresso da 3,54. Scaturisce di qui che, in ordine alla conducibilità pel calorico, il mercurio vien pure dopo gli altri metalli, ma sta avanti al marmo ed al carbone delle storte a gas.

639. **Conducibilità dei gas.** Il calorico nell'aria e negli altri gas si propaga precisamente come nei liquidi, vale a dire per mezzo di correnti ascendenti e discendenti, la cui esistenza può verificarsi sperimentalmente. Il fumo, i pezzettini di carta abbruciata e tutte le sostanze leggeri, che possono essere trasportate dall'aria in moto, servono a dimostrare questa cosa. Il movimento idrostatico negli aeriformi si stabilisce molto più facilmente che nei liquidi, per effetto della loro poca densità e della loro grande dilatabilità. Se poi i gas siano o no conduttori del calorico è difficile il deciderlo esperimentalmente. Pare che essi abbiano pure una tenue conducibilità, ma è ben poca cosa, e minore di quella dei liquidi. Dalla poca conducibilità dell'aria dipende, come abbiam detto, la resistenza che oppongono alla propagazione del calorico molte sostanze porose, sottilmente divise o polverizzate; ed ognuno sa che, a difendere un corpo dal caldo o dal freddo, è molto efficace una doppia copertura frammezzata da uno strato d'aria, ermeticamente chiuso ed impedito ne' suoi movimenti. Per ultimo dobbiamo avvertire che come fra i liquidi havvene uno, il mercurio, che conduce bene il calorico, così, fra gli aeriformi l'idrogeno sembra dotato di una conducibilità particolare. Se si arroventa per mezzo della corrente elettrica un filo di platino, e poi lo si introduce in una campana piena d'idrogeno, l'incandescenza scompare tosto; giacchè l'idrogeno leva buona quantità di calorico al metallo. Magnus pose un termometro in un vaso d'idrogeno che scaldava all'alto, ed osservò che il termometro indicava un accrescimento di temperatura, maggiore di quello che si otteneva quando tra la sorgente calorifica ed il termometro vi era un altro gas.

640. **Applicazioni — e spiegazione d'alcuni fenomeni.** Le notizie esposte sono di una applicazione tanto comune che quasi non ce ne avvediamo. Da qui ebbe origine l'uso dei pavimenti di legno, delle stuoje, delle doppie invetriate, delle

coperte fatte con piuma, degli abiti ovattati, dei vasi di metallo con manico di legno, ecc. Lo stesso principio suggerì di circondare la caldaja delle macchine a vapore con muro o legno; ed anche di fabbricare i forni a doppie pareti, ed empire l'intervallo con qualche sostanza poco conduttrice del calorico, come polvere di carbone o cenere. Quando si vuol difendere un corpo dal caldo o dal freddo, lo si avvolge in una materia poco conduttrice del calorico, come la lana non compressa, la paglia, ecc.; così si fa per mantenere lungamente il ghiaccio in un ambiente caldo, per impedire che il gelo invernale guasti le piante, e così via discorrendo. La cognizione dei buoni e cattivi conduttori ha pure indicato il mezzo di conservare per tutto l'estate dei grandi ammassi di ghiaccio. A questo intento, come ognuno saprà, si scava nel suolo una fossa profonda, se ne rivestono le pareti di muro, fatto di mattoni leggeri, che conducono il calorico meno bene delle pietre, e poi la si copre con un tetto fittissimo di paglia. Nell'inverno si riempie questa fossa di ghiaccio, avendo la cautela di mettere sul fondo un alto strato di rami d'albero, e di pestare il ghiaccio di mano in mano che lo si introduce nella cavità, onde sia compatto e non possa in esso circolare l'aria. Il tetto di paglia, e le pareti poco conduttrici, durante la stagione calda, impediscono al calorico esterno di penetrare nella ghiacciaja. L'acqua prodotta da quella parte di ghiaccio che si fonde pel calorico, che arriva pure ad attraversare in qualche modo l'inviluppo, scola in un pozzo fatto al fondo della ghiacciaja. Negli Stati Uniti d'America si trasporta il ghiaccio delle regioni boreali a grandi distanze ed in paesi caldissimi, inviluppandolo colla segatura di legno. Un'altra curiosa applicazione della poca conducibilità d'alcune sostanze, venne fatta nella costruzione della *camera di Saussure*. È questa una scatola di legno leggero, e cattivo conduttore, annerita nell'interno. Il coperchio di essa è formato di tre lamine di vetro, separate da uno strato d'aria. Collocando un termometro in questa camera, ed esponendola chiusa ai raggi solari, si osserva che la temperatura si eleva fino a 80°, ed a 100°, in modo che può adoperarsi a far bollire l'acqua. Ed ecco come si spiega questa cosa, a primo aspetto tanto strana. I raggi solari, che percuotono le pareti interiori della camera, non penetrano che ad una piccola profondità, sicchè per contatto cedono il loro calorico all'aria dell'ambiente, che pertanto si scalda assai, senza poter raffreddarsi perchè circondata da cattivi conduttori. Con un congegno poco dissimile Herschell, al Capo di Buona Speranza, si è servito del sole per cuocere un pezzo di carne di bue. Per le stesse cause, l'aria

si scalda notevolmente sotto le campane di vetro, colle quali si coprono i fiori o certe pianticelle. Un' altra industria che si riferisce all' argomento in discorso, è il metodo inventato per scaldare con un sol fuoco un vasto edifizio. Quando il *calorifero* è ad aria calda, il congegno è semplicissimo. Al dissopra di un fornello F (fig. 591), situato nelle più basse località della casa, si dispongono tanti tubi fra loro paralleli, simili a quello che appare nella figura, ciascuno dei quali comunica coll' atmosfera, e dopo d' aver piegato più volte sopra sè stesso, si apre in una stanza

Fig. 591.

della casa. È naturale che l' aria esterna, che penetra in ogni tubo per l' estremità A, scaldandosi e sollevandosi nella direzione delle freccie, debba espandersi nella camera ove finisce il tubo B, e per conseguenza elevarne la temperatura. Il calorifero ad acqua calda risulta da una caldaja *oo* (fig. 592), posta sul focolare F, fabbricato al basso della casa. Alla parte superiore di questa caldaja si eleva un lungo tubo M, che si unisce con un serbatojo d' acqua Q, collocato all' alto dell' edifizio da riscaldare. Dal fondo di questo medesimo serbatojo

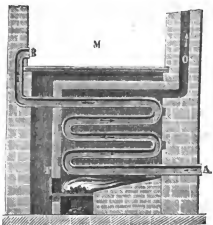
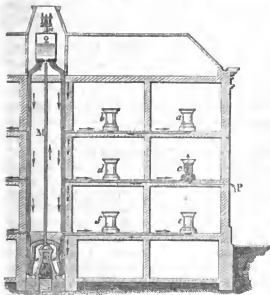



Fig. 592.

partono altri tubi, che vanno a terminare nei vasi *b*, *d*, *f*, pieni d'acqua. Questi vasi comunicano, alla loro volta, coi recipienti *a*, *c*, *e*, muniti di appositi tubi che finiscono al fondo della caldaja *oo*. Dopo ciò, chicchessia capisce che l'acqua scaldata dovrà elevarsi nel tubo M e nel vaso Q; di qui effluire nei vasi *b*, *d*, *f*, passare negli altri *a*, *c*, *e*, e così raffreddandosi ritornare alla caldaja. Nella costruzione di questi apparati converrà poi aver la cautela che le canne siano di metallo nelle parti che toccano il pavimento o la parete delle stanze da scaldare, e pel resto siano invece di terra cotta, o di qualunque altra sostanza poco conduttrice del calorico.

Per ultimo citerò qualche fenomeno naturale che si spiega coi principj esposti. Nel 1828, essendo mancato il ghiaccio in Sicilia, il geologo Gemellaro additò sull'Etna un deposito di ghiaccio ricoperto di uno strato grossissimo di cenere. Una spiegazione facile del fenomeno è la seguente. Ad un'epoca ignota, questo ghiaccio venne, durante l'inverno, coperto dalle ceneri lanciatevi dal vulcano, le quali si raffreddarono fondendone pure una parte, ma valsero a preservare il rimanente dal calorico della lava pervenutavi in seguito, ed anche dal calore atmosferico. Un altro fatto di cui voglio parlarvi è quello dell'esistenza di molte caverne, nelle quali il ghiaccio si conserva tutto l'anno, mentre di fuori la temperatura è molto elevata al dissopra dello zero. Ne abbiamo un esempio in una caverna del Monte Codano sul lago di Como. Queste caverne sono cavità profonde, aperte solo in alto, che d'ordinario s'allargano al basso. Nel verno l'aria meno fredda della caverna, come più leggera, esce fuori e cede il posto alla più fredda; ma di primavera e d'estate l'aria calda esteriore non può penetrare nella caverna, essendo meno pesante di quella che già vi si trova; sicchè la temperatura del luogo non può elevarsi. Alla medesima cagione si debbono probabilmente attribuire i soffi d'aria freschissima, che in estate escono fuori da spiragli situati presso il piede di qualche monte. Se ne incontrano nel territorio della Repubblica di s. Marino, havvene uno a Roma presso la base del monte Testacco; a Chiavenna ed a Caprino se ne trovano altri. Dello stesso genere sono le *ventarole* del Napoletano. Per spiegare tali fenomeni, conviene ammettere che nell'interno di questi monti esistano condotti, più o meno ampj, diretti secondo l'altezza della montagna, i quali all'alto si aprano nell'atmosfera, ed al basso comunichino con cavità a pareti screpolate, o disposte in modo da essere permeabili all'aria. È naturale che, essendo così le cose, l'aria fredda che nel verno v'è penetrata dall'alto, nell'estate tenderà a di-

scendere, ed uscire dalle aperture inferiori con impeto tanto maggiore, quanto sarà maggiore la differenza fra la temperatura interna e l'esterna.

ARTICOLO SECONDO

PROPAGAZIONE DEL CALORICO PER RAGGIAMENTO.

641. **Calorico raggiante — sua esistenza.** I fatti i più comuni ci attestano che il calorico si trasmette anche a grandi distanze, indipendentemente dall'aria circostante, anzi senza elevarne la temperatura. Se in un ambiente qualunque si mette un termometro sotto di una palla rovente, alla lontananza di circa un metro, esso segna ben tosto un elevamento di temperatura. Il calorico si è dunque propagato dalla palla al termometro; e ciò non si può attribuire alla conducibilità dell'aria, poichè quand'anche la sua facoltà conduttrice fosse di molto superiore a quella che ha in fatto, dovrebbe sempre impiegare un tempo molto più lungo per produrre il fenomeno; nè si può supporre che l'aria riceva il calorico dalla palla e lo comunichi per moto idrostatico al termometro, giacchè le condizioni dell'esperimento non ammettono la possibilità di questo moto. Il calorico che si propaga in tale maniera, cioè indipendentemente dalla materia ponderabile frapposta ai corpi fra i quali avviene la trasmissione, dicesi *raggiante;* e il modo stesso di propagazione si chiama *irradiazione* o *raggiamento.*

Il calorico raggiante è indipendente dalla luce. Una palla calda e non arroventata dà segno della sua presenza ad un termometro non molto lontano; ed i nostri corpi irradiano calorico, quantunque sieno opachi.

642. **Leggi dell'irradiazione.** L'irradiazione del calorico obbedisce alle tre seguenti leggi: 1.° Essa avviene in tutte le direzioni; giacchè se si colloca un termometro in differenti posizioni, intorno ad un corpo caldo, si scorge sempre un elevamento di temperatura. 2.° L'irradiazione *in un mezzo omogeneo* avviene in linea retta. Infatti un diaframma posto tra la nostra faccia ed il fuoco ci difende dal calorico irradiato da esso. Meglio si dimostra la cosa ponendo dinanzi ad una sorgente calorifica un diaframma forato, ed al di là di questo un termometro: si ha indizio d'aumento di temperatura, solo quando il bulbo del termometro è in linea retta col forellino e col corpo

caldo. Una serie rettilinea di molecole d'etere oscillanti sotto l'impulso di un corpo caldo, ossia una serie rettilinea di ondulazioni calorifiche, si chiama *raggio calorifico.* Le denominazioni di *cono, fascio* e *sfera calorifica,* hanno lo stesso significato che abbiamo attribuito loro nell'ottica (418). 3.° L'irradiazione avviene nel vuoto come nell'aria. Di fatto se si avvicina un corpo caldo ad un piccolo termometro, situato in un globo di vetro dal quale siasi estratta l'aria, lo strumento indica tosto elevamento di temperatura, come farebbe nell'aria.

Velocità del calorico raggiante. La velocità colla quale si propaga il calorico raggiante non venne finora misurata direttamente: si ammette però che dessa debba differire poco da quella della luce, se pure non ha eguale valore; perchè coi raggi luminosi provenienti dal sole ci arrivano costantemente anche i raggi calorifici; e d'altronde l'identicità delle leggi di raggiamento del calorico e della luce ci persuadono che questi due agenti debbono anche camminare con eguale velocità.

643. **Intensità del calorico raggiante.** L'intensità del calorico, cioè la quantità di calorico ricevuta sull'unità di superficie, cambia per quattro cause.

1.° *Essa è proporzionale alla temperatura della sorgente.* La cosa è evidente per sè stessa; ma si può averne una prova, presentando uno dei bulbi del termometro differenziale di Leslie a sorgenti diverse di calorico, per esempio ad un vaso cubico di latta, riempito successivamente d'acqua a 30°, a 20° ed a 10°. In questo supposto si scorge che, a pari distanza, il termometro segna temperature che stanno fra loro nel medesimo rapporto delle sorgenti, cioè come i numeri 3, 2 ed 1.

2.° *L'intensità del calorico raggiante è in ragione inversa del quadrato della distanza dalla sorgente calorifica.* Se dopo d'aver collocato un termometro ad una distanza determinata da un corpo molto caldo, se ne osserva l'indicazione, e poscia lo si trasporta ad una distanza doppia, tripla, ecc., e qui lo si lascia finchè siasi stabilito ad un punto fisso, si scorge che il termometro segna allora una temperatura quattro volte, e nove volte minore della prima.

3.° *L'intensità del calorico raggiante, ricevuto sopra una superficie, è proporzionale al coseno dell'angolo formato dai raggi incidenti colla normale a questa superficie.*

4.° *L'intensità del calorico, irradiato obliquamente da una superficie, è proporzionale al coseno dell'angolo formato dai raggi incidenti colla normale alla superficie medesima.* Una esperienza

che vale a dare una prova, non rigorosa ma abbastanza approssimativa, di questa legge, è la seguente. Si fissa orizzontalmente un tubo di cartone, annerito all'interno, e lungo circa un mezzo metro. Poscia ad una delle estremità di esso si colloca un termometro differenziale, in modo che un bulbo si trovi precisamente sull'asse del tubo; ed all'altro estremo si mette un vaso cubico di latta, pieno d'acqua molto calda, ed in posizione tale che una delle sue facce sia perpendicolare a quell'asse medesimo. Quando il termometro sia divenuto stazionario, si nota il numero di gradi indicato; ed in seguito, si fa girare alquanto il cubo, intorno ad una retta orizzontale e perpendicolare all'asse del tubo, sicchè la superficie, prima normale a questo, riesca più o meno inclinata su di esso. È manifesto che, nella prima disposizione del vaso, i raggi irradiati al termometro sono perpendicolari alla superficie da cui partono, e nella seconda invece sono obliqui: nel primo caso la superficie raggiante calorico al termometro è minore di quella che gli invia calorico nell'altro caso; eppure il termometro differenziale mostra di ricevere costantemente la medesima quantità di calorico.

Del resto le leggi enunciate, identiche a quelle già esposte (424) circa l'intensità della luce, possono essere dimostrate con un ragionamento analogo.

644. **Poter raggiante od emissivo**. L'attitudine, più o meno grande, che hanno i corpi di irradiare calorico, si appella *facoltà* o *potere emissivo*. Tutti i corpi sono capaci di irradiare calorico, ma, a pari circostanze, non posseggono tutti il medesimo potere emissivo. Per verificare la cosa esperimentalmente, ed anzi per misurare anche le differenze che i diversi corpi offrono in proposito, si fa uso di un apparato semplicissimo. Esso consiste in un vaso cubico M (fig. 594) di metallo, che si riempie d'acqua bollente, rivestendone le facce laterali colle differenti sostanze, delle quali si desidera confrontare i poteri emissivi. Al momento dell'esperienza, si pone questo cubo di fronte ad uno specchio sferico, destinato a concentrare un buon numero di raggi calorifici sopra un bulbo del termometro differenziale; mentre l'altro bulbo è difeso col diaframma A. Si volge poi verso lo specchio or l'una or l'altra delle facce laterali del corpo caldo, avendo la cautela di farlo rotare sopra sè stesso, senza spostarne la posizione dell'asse; e si osservano le indicazioni del termometro, appena desso siasi stabilito ad un punto fisso. Leslie, esperimentando col metodo descritto, e supponendo 100 il potere emissivo del nero di fumo, pervenne ai seguenti risultati.

Nero di fumo	100	Piombaggine	75
Acqua	100	Piombo offuscato	45
Carta da scrivere	98	Piombo brillante	19
Cera-lacca	95	Mercurio	20
Vetro (crown-glass)	90	Ferro pulito	15
Inchiostro di China	88	Stagno e rame	12
Ghiaccio	85	Argento ed oro	12
Minio	80		

Provostaye e Dessains invece, seguendo un processo più delicato, trovarono che il potere emissivo dei metalli è minore di quello indicato da Leslie, cioè:

Argento verg. laminato	3,00	Platino brunito	9,50
Argento puro brunito	2,50	Oro in fogli	4,28
Ottone battuto	5,36	Rame laminato	4,90
Platino laminato	10,80	Stagno	9,00

Il potere emissivo non varia solo da corpo a corpo, ma anche per una medesima sostanza cambia colla temperatura e colla qualità della superficie. Quando la temperatura si eleva molto, il potere emissivo cangia più o meno, ora per diminuzione ed ora per aumento. Il potere emissivo del borato di piombo a 100° è sensibilmente eguale a quello del nero di fumo, ma a 500° non è che 0,75 di esso; ed il platino, passando da 100° a 500°, muta la sua facoltà emissiva da 0,10 a 0,14 di quella del nero di fumo.

Quanto all'influenza della superficie, si ammise per molto tempo che il potere emissivo dei corpi diminuisce, accrescendo il grado di levigatezza della loro superficie; e per conseguenza che, per aumentare la facoltà raggiante di una sostanza liscia, bastasse renderne più o meno scabra la superficie. Ma Melloni provò all'evidenza che la cosa non era collegata alla levigatezza; giacchè nelle lastre di marmo, d'avorio e di altre sostanze non metalliche, il potere emissivo non si trova sensibilmente alterato quando siano rese più liscie o più scabre; ed anzi molti metalli gittati irradiano meno calorico a superficie solcata che a superficie liscia. Melloni stabilì poscia come regola generale che il po-

tere emissivo di una sostanza aumenta col diminuire della densità; e con questo principio spiegò i risultati dell'esperienza, che prima sembravano in contraddizione fra loro. Si capisce facilmente che, solcando un metallo battuto o laminato (il quale nelle parti superficiali è molto più denso che nel rimanente), si scoprono alcune parti meno dense, ed invece solcando un metallo gittato, la cui densità è prossimamente dappertutto uniforme, le parti scoperte hanno per sè stesse la densità delle altre, ma vengono un poco compresse, e perciò acquistano di densità; per conseguenza nel primo caso il potere emissivo del corpo cresce, e nel secondo diminuisce. È inutile l'avvertire che quelle sostanze, le quali, venendo solcate, non cambiano densità, avranno naturalmente lo stesso potere emissivo, qualunque sia la levigatezza della loro superficie.

Anche lo spessore della superficie, da cui partono i raggi calorifici, influisce, fino ad un certo punto, sul potere emissivo. Soprapponendo uno strato sottile di vernice ad un metallo qualunque, se ne accresce notevolmente la facoltà emissiva; e ciò che prova il mio assunto si è che un secondo strato della stessa vernice l'accresce ancora, e così un terzo, un quarto, e via discorrendo fino ad una certa spessezza, che si è trovato essere di circa $0^{mm},025$; oltrepassata la quale, il potere emissivo non cresce più, per nuovi strati che vi si aggiungano. È ben vero che i metalli, anche ridotti ad una sottigliezza estrema, irradiano costantemente la medesima quantità di calorico che emettono quando hanno una notevole grossezza; ma da ciò non si può dedurre che in essi lo spessore non abbia alcuna influenza, perchè, essendo debolissimo il loro poter raggiante, le differenze possono sfuggire all'osservazione.

Da questi fatti sembra scaturire la conseguenza, che il calorico raggiante parte da una certa profondità, al dissotto della superficie del corpo caldo. Ciò si spiega, ammettendo che ogni particella d'un corpo solido irradii calorico in tutte le direzioni, con una intensità dipendente dalla temperatura, e fors'anche dalla costituzione della sostanza. Una parte di questi raggi può trasmettersi all'esterno, quando la particella è abbastanza vicina alla superficie, perchè le altre che ne sono meno lontane non abbiano da impedirlo. È chiaro pertanto che quanto più le particelle saranno profonde nel corpo, tanto meno manderanno all'esterno del calorico che irradiano in tutti i sensi. In questa ipotesi del *raggiamento particolare*, appare naturalissimo che le sostanze più dense debbano avere generalmente il più debole potere emissivo, e che aumentando la densità di un corpo ne

diminuisca la facoltà d'irradiare calorico. Melloni concepì un'idea più ardita. Egli pensa che il potere emissivo dipenda per nulla dalla natura della sostanza, ma solo dalla profondità dello strato superficiale che manda calorico all'esterno, di maniera che qualora questo strato avesse in tutti i corpi la medesima grossezza, tutti sarebbero dotati dello stesso potere emissivo. Le esperienze di Masson e Courtépée, dalle quali si conosce che tutte le sostanze ridotte in minutissima polvere irradiano egualmente calorico, offrono una conferma inattesa della ingegnosa teorica di Melloni.

I corpi gasosi hanno potere irradiante molto debole, come si verifica avvicinando il bulbo di un termoscopio ad una fiamma d'idrogeno: quantunque la temperatura di questa fiamma sia elevatissima, lo strumento non dà alcun indizio di ricevere calorico, o per lo meno mostra di riceverne ben poco.

645. **Riflessione del calorico**. I raggi calorifici irradiati da un corpo si propagano in linea, se, come abbiam detto, il mezzo è omogeneo; ma, qualora manchi questa condizione, alla superficie dei corpi che incontrano si riflettono allo stesso modo dei raggi luminosi. Le leggi di questo fenomeno sono due: 1.° *L'angolo di riflessione è eguale all'angolo d'incidenza.* 2.° *Il raggio incidente si trova insieme al raggio riflesso nel piano perpendicolare alla superficie riflettente.* Ognuno s'accorge che queste leggi sono eguali a quella della riflessione della luce (426); e si dimostrano allo stesso modo.

Specchi ustorj. Da ciò, che i raggi calorifici si riflettono precisamente come i raggi luminosi, appare che gli specchi piani e curvi debbono produrre su quelli gli effetti medesimi che producono su questi. L'esperienza lo conferma. Se si pone un corpo caldo nel fuoco *a* (fig. 593) di uno specchio sferico concavo di forbito metallo, collocato dirimpetto ad un secondo specchio eguale, i raggi calorifici, partiti dal punto *a*, dal primo specchio sono riflessi in direzioni parallele e mandati verso il secondo, dal quale vengono inviati nel fuoco *b*, ove possono accendere una sostanza combustibile, come, per esempio, un po' di cotone fulminante od un pezzetto di esca. L'esperienza non riesce, se il corpo infiammabile non è collocato precisamente nel fuoco; e quindi l'effetto è manifestamente da ascriversi al calorico raggiante riflesso.

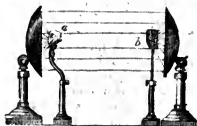



Fig. 593.

Si racconta che Archimede, col mezzo degli specchi ustorj, incendiò i vascelli Romani dinanzi a Siracusa. E Buffon costrusse degli specchi ustorj, la cui potenza prova la possibilità del fatto attribuito ad Archimede: essi erano formati da un gran numero di specchi piani di cristallo, lunghi 22 centimetri e larghi 16, e potevano essere mossi indipendentemente l'uno dall'altro in varie direzioni, in modo che tutti i raggi riflessi concorressero in un sol punto. Buffon, con 128 di questi specchi, concentrando i raggi solari sopra una tavola di legno intonacata di catrame, pervenne ad accenderla.

Identità della riflessione del calorico e della luce. Con questo apparato si può anche dimostrare che il calorico e la luce si riflettono secondo le stessi leggi. A questo intento si colloca al fuoco *a* una candela accesa, ed al fuoco *b* un diaframma di vetro smerigliato; si scorge qui un'imagine luminosa, precisamente al luogo ove si accese l'esca; dunque il fuoco luminoso ed il fuoco calorifico si formano nello stesso punto.

Riflessione nel vuoto. Sapendosi che il calorico raggiante si trasmette nel vuoto come nell'aria, è facile prevedere che desso si rifletterà ancora colle medesime leggi, tanto nell'una come nell'altra circostanza. Ciò nonostante chi ne bramasse una prova, potrebbe ripetere l'esperienza di Davy. Sotto il recipiente della macchina pneumatica si dispongano due piccoli specchi concavi, l'uno di fronte all'altro. Al fuoco dell'uno si metta un termometro assai sensibile, ed al fuoco dell'altro una sorgente elettrica di calore, che consiste in un filo di platino reso incandescente pel passaggio della corrente elettrica. Appena nata l'elettricità, il termometro ascende di parecchi gradi; e ciò per effetto del calorico riflesso, giacchè il termometro non indica più innalzamento di temperatura, quando non si trova esattamente al fuoco del secondo specchio.

Apparente riflessione del freddo. Se nel fuoco *a* si pone un pezzo di ghiaccio o di mercurio gelato, e nel fuoco *b* si dispone un termometro, esso, qualora si trovi da principio a 15° o 20°, indica ben tosto un abbassamento di temperatura. A primo aspetto pare che il freddo si rifletta pure come il calorico, e per conseguenza ch'esso non sia una semplice diminuzione di calorico. Ma la cosa non è che apparente. Nell'esperimento antecedente, in cui s'accese l'esca, la sorgente calorifica inviava calorico all'esca: nel caso che esaminiamo il corpo più caldo è il termometro; epperò è quello che invia calorico al ghiaccio, e quindi, perdendo di calorico, segna un abbassamento di temperatura. Propriamente, come vedremo più innanzi, tanto il ghiaccio

invia calorico al termometro, come il termometro al ghiaccio; ma in ogni caso, siccome i raggi irradiati dal termometro sono più intensi di quelli che emette il ghiaccio, così non v'è compensazione tra il calorico che il termometro riceve e quello che perde: essendo quest'ultimo maggiore manifesta un raffreddamento.

646. **Potere riflettente.** L'attitudine che i corpi hanno a riflettere il calorico appellasi il loro *potere riflettente*. Anche questa proprietà varia da corpo a corpo. Per confermarlo sperimentalmente, Leslie disponeva sull'asse d'uno specchio sferico, ad una certa distanza dal medesimo, un cubo M (fig. 594) pieno

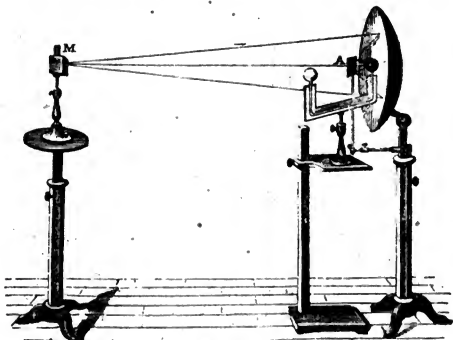



Fig. 594.

d'acqua a 100°; e tra il fuoco principale e lo specchio fissava una piastra A della sostanza di cui voleva conoscere il poter riflettente. Per questa disposizione, i raggi irradiati dalla sorgente, e riflessi una prima volta dallo specchio, incontrano la piastra A, vi si riflettono di nuovo, e formano il loro fuoco tra la piastra e lo specchio, in un punto in cui si colloca il bulbo d'un termoscopio. È chiaro che, restando sempre gli stessi lo specchio ed il termoscopio, e trovandosi costantemente l'acqua a 100°, quando si cambi la piastra A, le varie indicazioni del termoscopio misureranno il potere riflettente non assoluto, ma relativo del corpo cimentato. Con questo processo, rappresentando con 100 il poter riflettente dell'ottone, preso per termine di confronto, Leslie compose la seguente tavola dei poteri riflettenti d'alcune sostanze, comparativamente all'ottone.

Ottone	100	Inchiostro della China .	13
Argento	90	Vetro	10
Stagno	80	Vetro coperto d'olio . .	5
Acciajo	70	Vetro bagnato d'acqua .	0
Piombo	60	Nero di fumo	0

Questi numeri non rappresentano che il potere riflettente di diverse sostanze *relativo* a quello dell'ottone. Il loro potere *assoluto* sarebbe il rapporto fra la quantità di calorico riflesso e la quantità di calorico incidente. Melloni pel primo ha determinato il potere riflettente assoluto di qualche corpo. Dessains e Provostaye, che si occuparono della stessa questione, composero la tavola seguente, per l'angolo d'incidenza di 50°.

Placché d'argento . .	0,97	Acciajo	0,82
Oro	0,95	Zinco	0,81
Ottone e rame . . .	0,93	Ferro	0,77
Platino	0,83	Ghisa	0,74

Anche la conseguenza a cui pervenne Melloni concorda coi risultati di Leslie, cioè che il potere riflettente dei metalli è generalmente molto maggiore di quello degli altri corpi. Melloni ha inoltre constatato che fra tutti i metalli il mercurio gode del maggior potere riflettente.

Passando ad esaminare le circostanze che cambiano il potere riflettente di uno stesso corpo, la prima domanda che si affaccia al pensiero è: se lo spessore dello strato superficiale ha qui ancora influenza. Tale problema venne già discusso da Leslie, il quale trovò che, applicando alcuni strati di vernice sulla superficie dello specchio sferico del suo apparato, che abbiamo or ora descritto, la quantità del calorico riflesso diminuisce a seconda che aumenta il numero degli strati medesimi, finchè il loro spessore non sia arrivato a $0^{mm},25$. Per spiegare questo fatto si ammette che la riflessione avvenga non solo sulle molecole superficiali dello specchio, ma anche su quelle che ne sono al dissotto per una certa profondità; e che ciascuna di queste molecole respinga indietro i raggi calorifici che giungono ad essa per intromettersi nel corpo, ed eziandio quelli che vengono dall'interno per uscirne.

Resta ora a dire dei cambiamenti prodotti nel poter riflettente dei corpi da parte dei raggi calorifici medesimi. Innanzi tutto la quantità di calorico riflessa da un corpo, allo stesso modo della luce (427), aumenta, in generale, coll'angolo d'incidenza. Se rappresentasi con 100 la quantità di luce incidente sopra una lastra piana di vetro, l'esperienza prova che, essendo l'angolo d'incidenza 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 75° e 80°, la quantità di calorico riflesso è 3,03; 6,12; 8,08; 11,66; 17,99; 30,60; 40,70; e 55,10. Pei corpi dotati di notevole poter riflettente le quantità di calorico riflesse nelle diverse incidenze variano assai meno che nel vetro; nè cambiano sempre allo stesso modo. Provostaye e Dessains hanno trovato che il poter riflettente dei metalli si mantiene press'a poco costante, fino all'incidenza di 70°, e da qui innanzi diminuisce.

Molti metalli poi offrono un'altra singolarità; ed è di cambiare poter riflettente al mutare della sorgente calorifica. Sembra da ciò scaturire la conseguenza che i raggi calorifici aventi diversa origine abbiano anche diversa composizione, e che molti metalli riflettano meglio i raggi di una specie che quelli di un'altra. Provostaye e Dessains confermarono esperimentalmente che fra i raggi di uno spettro solare quelli che sono riflessi con maggiore intensità luminosa, vengono riflessi eziandio con più d'intensità calorifica.

Per ultimo notiamo che tutti i metalli riflettono il calorico oscuro più bene che non il calorico luminoso.

647. **Riflessione irregolare o diffusione.** Se il corpo riflettente non è ben liscio, i raggi calorifici che vengono a percuoterlo in fascio, dopo la riflessione non si conservano raccolti allo stesso modo, ma si sparpagliano. V'è dunque anche pel calorico raggiante una riflessione *regolare* o *speculare*, ed una *riflessione irregolare* o *diffusione*. Sebbene ogni raggio elementare sia riflesso regolarmente, pure ciascuno si propaga in una direzione diversa da quella dell'altro, a motivo della diversa positura delle normali ai punti della piccolissima superficie d'una stessa asperità.

Poter diffusivo. I corpi non diffondono tutti una medesima quantità di calorico. Quindi i fisici distinguono anche la facoltà od il *potere diffusivo* dei corpi, cioè l'attitudine loro a diffondere una quantità più o meno grande del calorico che ricevono. Per una stessa sostanza questo potere può variare secondo la direzione dei raggi incidenti e dei raggi diffusi, ed anche secondo la natura della sorgente calorifica. Se i raggi incidenti sono perpendicolari alla superficie del corpo, per le sostanze granulari

(quali la cerosa, il cinabro, il cromato di piombo, ecc.), l'intensità dei raggi diffusi è proporzionale al coseno dell'angolo che i raggi medesimi formano colla normale, finchè questo angolo è maggiore di 25°. Quando i raggi incidenti sono obliqui, la diffusione totale e la distribuzione dei raggi diffusi attorno alla normale dipendono dall'angolo d'incidenza. Tuttavia il potere diffusivo delle sostanze granulari, che obbediscono alla legge sopramenzionata, si mantiene costante per ogni angolo d'incidenza minore di 30°. Oltre questo punto, e nel piano d'incidenza, la diffusione è massima nella direzione della normale.

Quanto alla qualità della sorgente calorifica, basti osservare che i corpi bianchi diffondono bene i raggi irradiati dalle sorgenti luminose, e non quelli che partono da sorgenti oscure. Anzi Knoblauch ha trovato che variando l'incidenza cambia spesso la qualità dei raggi diffusi, anche senza mutare la sorgente: l'oro, l'argento, il rame e l'ottone, sotto le maggiori incidenze (fra 2° e 80°), diffondono raggi che passano più facilmente attraverso un vetro giallo di quelli che vengono da essi diffusi, sotto le incidenze vicine alla normale.

648. **Termocrosi.** Ciò conferma quanto abbiam detto sopra, che esistono diversi raggi calorifici, i quali sono mescolati assieme in proporzioni diverse, a seconda della sorgente da cui partono; ed anzi prova che il calorico, precisamente come la luce (470), può essere decomposto per riflessione. Questa proprietà del calorico raggiante, di offrire diverse qualità di raggi, chiamasi *colorazione calorifica* o *termocrosi;* e quanto a ciò i corpi si distinguono in *melanotermici*, *leucotermici* e *termocroici,* a quella guisa che rispetto alla luce si distinguono in neri, bianchi e colorati (471). Si chiamano pertanto *melanotermici* i corpi che diffondono poco o nulla di calorico; si appellano *leucotermici* quelli che riflettono egualmente tutti i raggi calorifici; e *termocroici* quelli che riflettono alcuni raggi ed assorbono gli altri. Il negrofumo è melanotermico ed anche nero; il platino, il ferro, il piombo, lo stagno e lo zinco sono leucotermici; ed invece l'oro, l'argento, il mercurio, il rame e l'ottone sono termocroici.

649. **Passaggio del calorico traverso ai corpi.** Le notabilissime somiglianze scoperte fra il calorico raggiante e la luce ci invitano a ricercare se, come i corpi rispetto alla luce si distinguono in trasparenti ed opachi, così vi siano anche certi corpi che si lasciano attraversare dal calorico raggiante, senza diminuirne molto l'intensità, ed altri che impediscono questo effetto. L'esperienza ha confermato pienamente la cosa. Ma è da avvertire che molte sostanze, attissime alla trasmissione della luce,

non si prestano bene a quella del calorico raggiante, e reciprocamente. Il Melloni appellò *diatermici* i corpi trasparenti pel calorico, ed *adiatermici* quelli opachi pel calorico; e dice poi *diatermasia*, o *potere diatermico*, l'attitudine dei corpi a trasmettere il calorico raggiante, ed *adiatermasia*, o *potere adiatermico*, la proprietà contraria.

Melloni, per mezzo del suo *termomoltiplicatore*, apparato che conosceremo più tardi, ha potuto provare nel modo il più luminoso che il potere diatermico cangia notevolmente dall'una all'altra sostanza. Fra le sostanze solide la più diatermica che si conosca è il salgemma, cioè il sal comune cristallizzato che si trova nelle miniere. L'aria è sommamente diatermica, poichè il calorico raggiante vi si propaga liberissimamente. Anche molti corpi opachi sono diatermici. Così il vetro, il salgemma ed altre sostanze diafane, rese affatto opache per mezzo del nero di fumo, sono tuttavia molto diatermiche. Fra i corpi naturalmente opachi la mica nera e certi vetri neri danno passaggio ad una notevole quantità del calorico irradiato dalle sorgenti luminose. Di qui scaturisce la conseguenza che i raggi luminosi possono essere separati dai raggi calorifici oscuri, che partono dalla medesima sorgente. La sostanza che si presta meglio di qualunque altra, per separare gli uni dagli altri raggi, sembra essere il solfuro di carbonio saturo d'iodio.

Cause che modificano il potere diatermico dei corpi. Lo stesso Melloni ha trovato che il potere diatermico dei corpi aumenta colla loro levigatezza, e diminuisce quando cresce il loro spessore. Ma, misurando la perdita che soffre un fascio di raggi calorifici nell'attraversare una lastra di vetro, o di qualunque altro corpo diatermico, doppia, tripla, quadrupla di un'altra, si scorge che le quantità di calorico perduto divengono sempre più piccole, di maniera che, quando la lastra ha raggiunto un certo spessore, la porzione di calorico trasmesso rimane sensibilmente costante (almeno pel vetro).

Un altro lavoro di Melloni fu quello di confermare un fatto scoperto da Delaroche, che il potere diatermico di un corpo varia eziandio al mutarsi della sorgente calorifica. I raggi solari attraversano bene una lastra di vetro; ma non avviene così dei raggi irradiati dal fuoco ordinario o dai corpi oscuri. L'esperienza prova che il calorico non è sensibilmente trasmesso da una lastra di vetro se la temperatura della sorgente non arriva a 100°, ed assai poco se è fra 200° e 300°. Somiglianti differenze si osservano in quasi tutte le sostanze diatermiche; sicchè ammettesi in generale che la quantità di calorico trasmesso è tanto più

piccola quanto minore è la temperatura assoluta della sorgente. È poi d'avvertire anche che, al cambiarsi del corpo da cui parte il calorico, il potere diatermico delle varie sostanze muta in maniera diversa; e per conseguenza è modificato anche l'ordine col quale si succedono i corpi rispetto al poter diatermico. Il salgemma è l'unica sostanza, finora conosciuta, che trasmette sempre in proporzione costante il calorico proveniente dalle diverse ordinarie sorgenti calorifiche. Provostaye e Dessains hanno mostrato però che anche questa sostanza trasmette in minore quantità i raggi calorifici irradiati da un corpo che si trovi ad una temperatura molto inferiore a 100°; sicchè conviene ammettere che l'uniforme diatermasia del salgemma non è assoluta, ma solo relativa a quella specie di raggi che sono trasmessi da altri corpi.

Poniamo qui in fine i numeri che esprimono i poteri diatermici d'alcune sostanze a spessore costante, rispetto ad una lampada d'Argant. Rappresentando con 100 i raggi diretti, la quantità dei raggi trasmessi è indicata da:

Pei vetri incolori (dello spessore di $1^{mm},88$).

Cristallo	62 a 59	Crown-glass	49
Flint-glass	67 a 64	Vetro in lastra	58 a 50

Pei liquidi (a spessore di $9^{mm},21$).

Solfuro di carbonio	63	Essenza di copahu	26	Idrato di potassa	13
Cloruro di solfo	63	Essenza di spigo	26	Acido acetico	12
Olio di noce	31	Olio di papavero	26	Acqua zuccherata	12
Essenza di trementina	31	Etere solforico	21	» salata	12
Olio di colza	30	Acido solforico puro	17	» alluminata	12
Olio d'oliva	30	Alcool assol.	15	» distillata	11
Nafta naturale	28	Acido nitrico	15	Bianco d'uovo	11
		Idrato d'ammoniaca	15		

Per le sostanze cristallizzate (di spessore $2^{mm},62$).

Salgemma (diafano)	92	Carbonato di piombo (diaf.)	52	Calce solfatata	20
Spato d'Islanda (diaf.)	62	Agata bianca (pelluc.)	35	Calce fluatata	15
Quarzo (diaf.)	62	Tormalina verde (diaf.)	27	Allume (diafano)	12
Quarzo (affumicato)	57			Solfato di rame bleu-oscuro (diaf.)	0
Topazio del Brasile (incol.)	54				

650. **Rifrazione del calorico**. Domanderete adesso se nel calorico raggiante si verifichi pure, come nella luce, il fenomeno della rifrazione; e la risposta potete indovinarla. Facendo cadere

sopra un prisma di qualche sostanza diatermica un fascetto di raggi calorifici, ed esaminando accuratamente, per mezzo di uno o più termoscopj, la direzione del fascetto emergente, si trova ch'esso si piega proprio come farebbe un fascio di raggi luminosi, eccetto che la quantità del piegamento è un po' minore. Per conseguenza i raggi calorifici si possono concentrare per mezzo di una lente di salgemma o di altra sostanza diatermica, precisamente come i raggi luminosi. Le leggi della rifrazione del calorico sono identiche a quelle della rifrazione della luce (442).

Spettro calorifico. Il calorico può essere decomposto anche per rifrazione. I diversi raggi calorifici hanno differenti gradi di rifrangibilità, sicchè, come i raggi luminosi, attraversando un mezzo rifrangente si separano, producendo il fenomeno della colorazione calorifica. Questa cosa, confermata con tanta sagacia dal Melloni, rende buon conto di quanto si conosceva già da gran tempo, che la temperatura nello spettro solare (480) va crescendo dall'estremità violetta alla rossa, ed anzi seguita a crescere anche per un certo spazio al di là, cosicchè il massimo di caldo si trova alquanto fuori dello spettro luminoso dalla parte del rosso. I raggi provenienti dal sole sono misti di luminosi e di calorifici: il gruppo dei primi produce lo spettro colorato, ed il gruppo dei raggi calorifici forma lo *spettro calorifico.* Ma, come già abbiamo osservato, i raggi calorifici, in media, sono meno rifrangibili dei luminosi; e per conseguenza lo spettro calorifico sporge in fuori dal luminoso, dalla parte dei raggi meno rifrangibili. A quella guisa poi che i diversi raggi luminosi non hanno egual facoltà rischiarante, anche i varii raggi dello spettro calorifico sono diversamente caldi. I raggi calorifici più rifrangibili, che cadono nello spettro della luce, si dicono *raggi calorifici luminosi,* e si distinguono col nome del colore che li accompagna; e gli altri raggi meno rifrangibili, esterni allo spettro luminoso, si appellano *raggi calorifici oscuri,* e si distinguono a seconda della loro rifrangibilità. Quanto ai raggi calorifici luminosi si è trovato che: 1.° tutte le sostanze perfettamente diafane sono pure diatermiche rispetto a questi raggi. 2.° Le sostanze che non trasmettono alcuni raggi colorati, intercettano parimenti i raggi calorifici luminosi corrispondenti, ossia dotati di eguale rifrangibilità. 3.° I raggi colorati ed i raggi calorifici della stessa specie attraversano i corpi, o sono da essi intercettati sempre in proporzioni eguali. Dei raggi calorifici oscuri si sa che il potere diatermico dei corpi rispetto ad essi ha nessuna relazione colla trasparenza, e varia non solo da sostanza a sostanza, ma anche

per un medesimo corpo, d'ordinario, ha valori differenti, relativamente ai diversi raggi.

Riflessione totale del calorico. Anche il fenomeno della riflessione totale si riscontra nel calorico raggiante. Un raggio calorifico non può passare da un mezzo ad un altro meno rifrangente, se l'angolo d'incidenza non è inferiore ad un certo limite; e quando questo angolo arriva al limite stesso, o lo oltrepassa, il raggio calorifico vien riflesso totalmente.

Doppia rifrazione del calorico. Nè ci deve far meraviglia che il calorico sia parimenti soggetto alla doppia rifrazione. Le moltissime analogie ch'esso presenta colla luce ce lo fanno supporre, e l'esperienza lo conferma. Facendo scorrere un delicato termoscopio dietro lo spato d'Islanda, e qualche altro corpo, intanto che dall'altra parte esso riceve un piccolo fascio di raggi calorifici, si trovano due luoghi perfettamente distinti fra loro, nei quali il termoscopio dà segno di notevole riscaldamento.

651. **Interferenza e diffrazione dei raggi calorifici.** Fizeau e Foucault hanno mostrato che i curiosi fenomeni d'interferenza si ripetono nel calorico raggiante; sicchè come due raggi luminosi incontrandosi possono produrre l'oscurità, così due raggi calorifici, ognun dei quali da sè solo farebbe scorrere per molti gradi il liquido del termoscopio, possono lasciarlo quieto quando ne percuotono assieme la bolla. Knoblauck, che nel 1846 avea annunciata la diffrazione del calorico, ha riconosciuto da poco tempo che un fascio calorifico, uscendo da una piccola fessura, si allontana dal limite geometrico. Lo stesso scienziato osservò alcune frange calorifiche coincidenti colle frange luminose delle reticelle; ed avendo projettato sopra un diaframma, per mezzo di una lente, gli anelli colorati prodotti fra due vetri, potè constatare una differenza di temperatura al centro, quando è brillante od oscuro.

Polarizzazione del calorico. I raggi calorifici possono essere polarizzati, come i raggi luminosi, e cogli stessi mezzi, cioè per riflessione, per rifrazione e per emissione obliqua. Le esperienze di Melloni, di Prevostaye e di Dessains lo confermano luminosamente. Wartmann ha verificato eziandio che il calorico riflesso dall'atmosfera è polarizzato nel medesimo piano della luce che essa c'invia, e che gli stessi punti neutri, e quelli della massima polarizzazione coincidono esattamente. A quel modo poi che il piano di polarizzazione della luce viene spostato, se dessa traversa il quarzo o certi liquidi, così anche il piano di polarizzazione del calorico soffre un'eguale modificazione in presenza dello stesso quarzo, dell'essenza di trementina, della soluzione di zuccaro, ecc.

652. **Assorbimento del calorico**. Tenendo conto esatto della quantità di calorico riflessa e diffusa da un corpo, e (se questo è diatermico) anche del calorico trasmesso, si trova che la loro somma generalmente non eguaglia la quantità di calorico incidente. È dunque manifesto che una porzione di questo calorico viene assorbita dal corpo. Chiamasi pertanto *potere assorbente* di una sostanza l'attitudine ch'essa possiede, di appropriarsi una parte più o meno grande del calorico incidente, trasformandolo in un lavoro interno, che d'ordinario ha per effetto un aumento di temperatura o di volume.

Le varie sostanze hanno diverso potere assorbente. Nobili e Melloni, avendo paragonato il potere assorbente di alcuni tessuti bianchi, stabilirono l'ordine seguente: seta, lana, cotone, lino e canape, fra i quali la seta, è il corpo che assorbe il calorico meglio degli altri. Quanto ai metalli hanno trovata la serie: piombo, stagno, ferro, acciajo, oro, argento e rame. È d'avvertire che quest'ordine è press' a poco l'inverso di quello che corrisponde alla conducibilità del calorico.

Il potere assorbente di un corpo è generalmente eguale al suo potere emissivo. Imperocchè, introducendo un termometro a 15° in un recipiente perfettamente chiuso e mantenuto costantemente a 0°, il tempo impiegato dal termometro a raffreddarsi fino a 0°, è precisamente eguale a quello che è necessario perchè il termometro si riscaldi fino a 15°, quando le cose siano disposte in ordine inverso, quando cioè il recipiente sia mantenuto a 15°, ed il termometro sia primitivamente a 0°. Per conseguenza, tutto ciò che modifica il potere emissivo di un corpo, ne cambia ancora il potere assorbente. Esso dunque aumenta o diminuisce, come il potere emissivo, quando varia l'inclinazione dei raggi incidenti, o cambia di molto la temperatura. Parimenti, se si rende scabra la superficie di un corpo in maniera da diminuirne la densità della superficie, il potere assorbente di esso cresce; ed invece, se la stessa operazione ha per effetto una diminuzione nella densità complessiva della superficie, la quantità di calorico assorbita dal corpo diviene minore; e così è di tutte le altre operazioni che producono il medesimo risultato. Nella fabbricazione degli specchi destinati a riflettere il calorico, conviene pertanto incrudirne la superficie a colpi di martello.

Il calorico assorbito da un corpo è eguale a quello che esso riceve, diminuito dalla parte che ne è riflessa e diffusa, e se il corpo è diatermico anche della quantità trasmessa. Sapendosi peraltro che i poteri riflettente, diffusivo e diatermico variano al

mutarsi della sorgente, s'indovina che lo stesso deve avvenire quanto al potere assorbente. Le esperienze di Melloni lo confermano; e la tavola seguente ne contiene i risultati.

SOSTANZE CIMENTATE	Lampada d'Argant	Lampada di Locatelli	Platino incandescente	Rame a 400°	Rame a 100°
Nero di fumo . .	100	100	100	100	100
Inchiostro di China .	100	96	95	87	85
Cerosa	24	53	56	89	100
Colla di pesce . .	45	52	54	64	91
Gommalacca . . .	30	43	47	70	72
Superficie metallica .	17	14	13,5	13	13

Il negrofumo assorbe egualmente tutte le specie di raggi, e perciò esso acquista, rispetto all'assorbimento l'importanza, che il salgemma ha quanto alla trasmissione; e ci mette in grado di potere istituire un confronto fra le intensità delle irradiazioni calorifiche di natura diversa. Quando si voglia far questo, conviene coprire con nero di fumo i termoscopj od i termometri che si adoperano, altrimenti le indicazioni dipenderanno dal potere assorbente e diatermico delle superficie percosse dai raggi calorifici, e non saranno per nulla proporzionali all'intensità delle irradiazioni provenienti da sorgenti diverse. I metalli leucotermici posseggono la stessa proprietà del negrofumo, in quanto che assorbono una quantità eguale di tutti i raggi calorifici.

653. **Corpi diatermici termocroici — ed atermocroici**. Da questi fatti scaturisce una nuova prova della termocrosi del calorico. Per verità, essi ci mostrano che ogni sostanza diatermica assorbe di preferenza alcuni raggi e trasmette gli altri, come molti corpi diafani lasciano passare in abbondanza la luce di un colore e scarsamente quella di un'altra tinta. Quindi, come rispetto alla luce, i corpi diafani si distinguono in colorati ed incolori, così quanto al calorico raggiante i corpi diatermici si distinguono in *termocroici*, che trasmettono alcuni raggi calorifici e ne intercettano altri; ed in corpi *atermocroici*, che li trasmettono tutti egualmente. Il salgemma è atermocroico, mentre il cristallo di rocca, l'allume, lo spato d'Islanda, ecc., sono termocroici.

Dopo ciò, si capisce bene come il potere diatermico di una sostanza debba variare al mutarsi della sorgente calorifica, poi-

chè i raggi da questa provenienti possono contenere diverse quantità dei raggi che sono trasmessi dalla sostanza. S'intende pure perchè le differenti sostanze intercettino in diverse proporzioni i raggi d'una medesima sorgente, potendo questa contenere in maggiore quantità quei raggi che passano per le une e non per le altre. Il medesimo principio spiega eziandio il fatto che quando aumenta lo spessore di un corpo, il potere diatermico di esso diminuisce, ma non in rapporto all'accresciuta grossezza, e solo fino ad un certo limite. Imperocchè il fascio che si presenta al secondo strato del corpo, venne già spogliato nel passaggio del primo, della maggior parte dei raggi che la sostanza assorbe o riflette. Ognuno può adesso imaginare cosa avverrà se i raggi calorifici attraversano più sostanze diatermiche, diversamente termocroiche: è chiaro che tali raggi potranno essere intercettati totalmente, ossia il sistema di queste diverse sostanze potrà divenire adiatermico. Se, per esempio, i raggi calorifici trasmessi pel salgemma affumicato, si ricevono sopra una lastra di limpidissimo allume, questo li assorbe completamente: appunto come farebbe un vetro rosso relativamente alla luce trasmessa da un vetro verde. Somiglianti effetti si osservano anche quando al salgemma, annerito col negrofumo, si sostituisce la mica nera od un vetro inverdito dall'ossido di rame, ed all'allume un piccolo strato d'acqua chiuso fra due vetri. Qui ancora si osserva che una sostanza diatermica qual'è l'acqua intercetta affatto i raggi calorifici, perchè questi sono prima passati attraverso la mica nera od il vetro verde.

654. **Spiegazione d'alcuni fenomeni.** Ora potete essere in grado di spiegare qualche fenomeno che forse avrete più volte osservato, senza conoscerne la ragione. Tutti sanno, per esempio, che la neve si fonde più presto attorno al fusto degli alberi e sotto alle foglie, ai brandelli di stoffa oscura, alla polvere di carbone, od altri simili corpi che casualmente vi si trovino. Il primo fatto non dipende già dal calorico proprio delle piante, ma da quello ch'esse ricevono, specialmente dal sole, e poi emettono. I raggi emessi dalle piante, come ha provato Melloni, sono di un'altra natura dei raggi diretti del sole, e più facilmente vengono assorbiti dalla neve. L'altra cosa proviene da ciò che le foglie, e gli altri corpi sparsi sulla neve, assorbono i raggi solari molto meglio che non faccia la neve, la quale diffonde la maggior parte del calorico incidente. La neve, avendo tenue poter assorbente, ha ancora piccolo potere emissivo; e quindi preserva dal freddo la terra che ricopre. Gli abiti bianchi, i cappelli e gli ombrellini bianchi servono meglio dei neri contro l'ardore del sole, perchè diffon-

dono una parte maggiore del calorico incidente. Una stufa conviene che sia tinta in nero ed a superficie scabra, se deve irradiare molto calorico: se dessa fosse di rame pulito e brillante, riscalderebbe bene per contatto l'aria circostante, ma irradierebbe poco, quand'anche fosse molto scaldata. Per lo stesso motivo i liquidi si raffreddano lentamente nei vasi d'argento, di rame, o di porcellana bianca inverniciata, se sono isolati in modo che non abbiano a perdere molto calorico per conducibilità. La condizione più favorevole al riscaldamento di un liquido da parte dal vaso, è che questo sia nero laddove è esposto all'azione del fuoco, e brillante in tutto il rimanente. Questo medesimo principio suggerisce di tingere in nero i muri dei giardini, ai quali s'appoggiano le spalliere; giacchè allora i raggi solari, che percuoteranno questi muri, saranno facilmente assorbiti, e poi rinviati per raggiamento verso quelle parti dei frutti che non ricevono direttamente i raggi del sole. Di qui si capisce parimenti come una camera che avesse le pareti dorate, verrebbe scaldata molto rapidamente da un fuoco accesovi nell'interno; perchè i raggi calorifici, che si presenterebbero alle pareti per uscire, sarebbero nella massima parte riflessi.

655. **Equilibrio del calorico raggiante**. Abbiam detto che i corpi emettono calorico, e che questo calorico, passando ad altri corpi, vien riflesso, diffuso, trasmesso, rifratto, assorbito, e spesse volte decomposto, producendo una colorazione calorifica. Ora è bene ch'io prevenga una dimanda che forse vi si affaccerà al pensiero: tutti questi fenomeni, domanderete, avvengono di continuo nei corpi, oppure quando havvi fra questi una differenza di temperatura? Di più: questi fenomeni, in un corpo che sia capace di produrli, si compiono tutti contemporaneamente o nò, sicchè un corpo, mentre, per esempio, assorbe calorico, non possa anche emetterne? L'esperienza prova che se tutti i corpi esistenti in un dato luogo hanno la medesima temperatura, che sia quella delle pareti dell'ambiente, essi si mantengono costantemente in questo stato. Invece, quando tali corpi si trovano a temperature diverse, i più caldi di essi in fin dei conti perdono calorico, ed i meno caldi ne acquistano. Può nascere pertanto il desiderio di sapere: se nel primo caso il calorico sia in quiete, oppure venga ancora emesso, diffuso, assorbito, ecc.; e nel secondo sia irradiato solo dai più caldi, ed assorbito appena dai più freddi, ovvero questi due fenomeni avvengano negli uni e negli altri, sebbene in proporzioni diverse. Nel sistema d'emanazione si poteva ammettere indifferentemente l'una o l'altra delle due cose; ma, secondo le idee che abbiamo

attualmente circa la natura del calorico, si trova una difficoltà, per non dire una ripugnanza, nello spiegare quei fatti nella prima anzichè nella seconda maniera. Non si saprebbe per verità concepire come, vibrando pure le molecole di ciascun corpo, mentre si trovano immerse nell'etere, questo movimento non si debba trasmettere all'etere stesso, e così anche agli altri corpi. Inoltre, ci troveremmò incapaci di spiegare perchè l'emissione dai corpi più caldi cominci poi al sopravvenire di un corpo meno caldo. Si ammette quindi universalmente dai dotti che tutti i corpi, in ogni momento, emettono ed assorbono calorico, e per conseguenza, se ne hanno il potere, lo riflettono, lo diffondono e lo trasmettono nell'atto stesso; in breve: si tiene come principio fondamentale che fra i corpi avviene un incessante scambio di calorico. Quand'essi sono alla medesima temperatura, la quantità di calorico emessa da ognuno, in un tempo brevissimo, eguaglia precisamente la somma delle quantità di calorico che esso riceve dagli altri nel medesimo tempo, ossia questi corpi, come si dice, sono *in equilibrio mobile di temperatura*. Ma se i corpi situati in uno stesso ambiente sono inegualmente caldi, i più freddi acquistano, in ogni istante, più di quel che perdono, e viceversa gli altri perdono più di quanto acquistano, finchè arrivano all'equilibrio di temperatura. La rapidità colla quale i corpi si raffreddano o si riscaldano in ciascun istante piccolissimo, per arrivare a questo punto, non è sempre la stessa. Newton ha scoperto che *la quantità di calorico che un corpo acquista o perde in un minuto secondo, è proporzionale alla differenza tra la sua temperatura e quella dell'ambiente*. Da questa legge scaturisce la conseguenza che gli abbassamenti di temperatura in tempi successivi, eguali fra loro, formano una progressione geometrica decrescente. Non si creda però che la menzionata legge sia generale. Dulong e Petit mostrarono che dessa si verifica appena quando le differenze di temperatura non sono maggiori di 15° o 20°. Al di là di questo limite, la quantità di calorico perduta od assorbita dai corpi in un minuto secondo è più grande di quella indicata dalla medesima legge.

Ora siamo in grado di conoscere due questioni che si agitarono circa tale materia. La prima è questa: se la temperatura di un corpo è maggiore di quella dell'ambiente per una quantità costante, la velocità colla quale il corpo medesimo si raffredda è sempre la stessa, qualunque siano le loro temperature assolute? Dulong e Petit stabilirono che nel vuoto tali velocità di raffreddamento, per una differenza costante di temperatura, crescono in progressione geometrica quando le temperature dell'ambiente aumentano

in progressione aritmetica; e la ragione della progressione geometrica è sempre la stessa, qualunque sia l'eccesso di temperatura.

Un altro problema, che i due fisici menzionati si proposero da risolvere, è questo: supposto che in mezzo ad uno spazio, mantenuto a costante temperatura, si trovi un corpo soggetto all'azione di una sorgente calorifica, è chiaro che desso, mentre verrà successivamente scaldato da questa, perderà calorico per raggiamento allo spazio circostante; or bene, qual'è la legge di tale fenomeno? Le velocità del raffreddamento, che il corpo viene a soffrire per irradiazione, crescono in progressione geometrica (i cui termini vanno diminuiti di una quantità costante), quando gli eccessi di temperatura formano una progressione aritmetica crescente. Da qui scaturiscono diverse belle conseguenze. La prima è che le velocità di raffreddamento d'un corpo posto in uno spazio, dal quale, per ipotesi, non riceva calorico, decrescono in progressione geometrica, quando le temperature diminuiscono in progressione aritmetica; e la ragione della prima progressione è la stessa per tutti i corpi. La seconda conclusione, che si trae dalla legge esposta, è che un corpo messo dinanzi ad una sorgente costante di calorico non può scaldarsi indefinitamente; giacchè, mentre gli eccessi della sua temperatura su quella dell'ambiente ingrandiscono in progressione aritmetica, le quantità di calorico irradiate allo spazio medesimo aumentano in progressione geometrica, sicchè arriva un momento in cui la quantità di calorico emessa dal corpo eguaglia prossimamente quella assorbita, ed allora la temperatura di esso rimane stazionaria. Un'altra deduzione, che si può cavare dal medesimo principio, è che le indicazioni del termometro differenziale sono proporzionali alle quantità di calorico ch'esso riceve. Di fatto, se un bulbo di questo strumento vien posto di fronte ad una sorgente costante di calorico, da principio indica un aumento successivo di temperatura, ma poscia si ferma ad un punto determinato. È manifesto che allora la quantità di calorico assorbita dallo strumento è eguale a quella ch'esso emette. Ma quest'ultima è proporzionale all'eccesso della temperatura del termometro su quella dell'ambiente, ossia al numero di gradi segnati; dunque l'indicazione dell'apparato è proporzionale alla quantità di calorico ch'esso riceve.

Gia s'intende da sè che queste leggi suppongono collocato il corpo nel vuoto; giacchè nell'atmosfera esso si raffredderebbe o si scalderebbe anche per contatto dell'aria. Dulong e Petit calcolarono anche l'effetto della presenza dell'aria, e pervennero alle seguenti conclusioni. 1.° La natura della superficie non ha

influenza alcuna sulle quantità di calorico che il corpo perde per contatto del gas. 2.° Però, ad altre circostanze pari, varia assai questo effetto per la natura dei gas, e propriamente è proporzionale ad una certa potenza della loro elasticità. 3.° Per un medesimo gas, e per una medesima differenza di temperatura fra il gas ed il corpo, la velocità con cui il calorico viene da questo comunicato a quello, o viceversa, varia secondo che si cangia la forza espansiva del gas, crescendo al crescere di questa forza. 4.° Per un medesimo gas, dotato di una stessa forza espansiva, la facoltà, ch'esso possiede di togliere o dare calorico, è maggiore o minore a seconda della differenza di temperatura fra esso ed il corpo in questione. Una tale facoltà varia in ragion più rapida che non la differenza di temperatura, cioè prossimamente in ragione della potenza 1,233 di quest'ultima. Inoltre, non bisogna dimenticare che altre circostanze moltissime concorrono a modificare più o meno notevolmente i risultati finali: tali sono la capacità pel calorico, la grandezza, la figura, la conducibilità, il poter termocroico, ecc. del corpo che si raffredda o si riscalda; i movimenti dell'aria dell'ambiente, la disposizione dei corpi circostanti, ecc.

656. **Riassunto e conclusione.** Prima di por fine alla termologia, rivolgetevi un momento addietro a guardare quante somiglianze si riscontrano fra le proprietà del suono, della luce, e del calorico, e quali interessantissime conseguenze possono scaturire da questo confronto. Il suono, la luce ed il calorico si propagano in linea retta; si riflettono, si diffondono, e si rifrangono colle medesime leggi; incontrandosi fra loro si rinforzano, si distruggono, o si modificano reciprocamente; alcuni corpi li trasmettono, ed altri li assorbono. Il suono, la luce ed il calorico hanno una intensità, che varia secondo le stesse leggi generali per tutti e tre. Che più? A quella guisa che vi sono infiniti suoni, differenti fra loro nei numeri delle vibrazioni, così esistono moltissimi raggi luminosi e calorifici, che corrispondono a numeri diversi di vibrazioni. Fra i tanti suoni se ne distinguono sette principali; e sette sono parimenti i principali colori. I suoni, unendosi in proporzioni determinate, formano l'armonia; ed allo stesso modo i colori, combinandosi secondo certe leggi, o producono il bianco o danno origine ad altre tinte. Anche la mano meglio ammaestrata non vale a trarre da un corpo sonoro tutti i diversi suoni, nè la voce dell'uomo è capace di produrli tutti; e così ogni sorgente luminosa o calorifica irradia certi raggi e non altri. E così via, scorrendo le leggi ed i fenomeni esposti nell'acustica, nell'ottica e nella termologia, po-

trete forse da voi stessi scoprire altre analogie fra questi tre meravigliosi principj.

Non credete però che vi sia dappertutto identità. Già sapete che il suono, a differenza del calorico e della luce, non si propaga nel vuoto pneumatico; nè avrete dimenticato che la velocità colla quale il suono si trasmette da un luogo ad un altro è molto minore di quella che corrisponde agli altri due principj. Le vibrazioni sonore ora sono longitudinali, ed ora invece sono trasversali; ma le vibrazioni calorifiche e luminose sono costantemente di quest'ultima specie. Il calorico e la luce nascono per azioni meccaniche, elettriche e chimiche; ed il suono non sappiamo produrlo che per via meccanica. Il calorico e la luce si polarizzano e si decompongono; e di ciò non abbiamo esempio nel suono. È vero che certi corpi posti dinanzi ad un complesso di vibrazioni sonore, non ne riproducono in sè stessi che alcune; ma ciò non è una vera decomposizione o separazione di suoni. Anche fra la luce ed il calorico possiamo notare delle differenze. I raggi luminosi sono generalmante calorifici, ma questi non sono sempre luminosi; gli uni hanno un'azione tutta speciale sulla retina, e gli altri nò. La luce non si trasmette per conducibilità, come il calorico; nè quella vale per sè stessa a produrre gli effetti fisici prodotti da questo, sebbene possa dare origine a molti effetti chimici.

La conseguenza che scaturisce spontanea dal sin qui detto è una conferma luminosa del sistema d'ondulazione. Le analogie fra le leggi del suono con quelle del calorico e della luce ci persuadono che questi, al par di quello, sono movimenti vibratorj della materia ponderabile, che si trasmettono per mezzo di un fluido. Ma nello stesso tempo la trasmissione del calorico e della luce nel vuoto pneumatico, la loro velocità, di cui non abbiamo esempio nei movimenti della materia ponderabile, ed altre loro differenze dal suono ci avvisano che ben diverso della materia ponderabile dev'essere il fluido che loro serve di veicolo.

Quanto al divario che può apparire tra il calorico e la luce notiamo due cose. 1.° *Le proprietà particolari del calorico sono relative alla mobilità delle molecole ponderabili.* Una prova di questa proposizione può essere che i diversi corpi esigono quantità differenti di calorico, per scaldarsi e per dilatarsi allo stesso modo, o per cambiar stato. Ma una minuta analisi dei fatti in questione ce ne offre altre prove più decisive. Esaminiamo, per esempio, la trasmissione del calorico per conducibilità dei corpi. Chicchessia capisce che questo fenomeno fa supporre nelle molecole dei corpi una corrispondenza al movimento dell'etere, la

quale peraltro non è possibile se quest' ultimo, per ipotesi, si move troppo lentamente o con eccessiva rapidità, ossia in maniera per nulla corrispondente alla mobilità delle molecole ponderabili. Della necessità di una certa rapidità nel movimento dell'etere, onde avvenga la cosa, ognuno può esserne persuaso. Chi poi dubitasse che anche un moto troppo rapido non varrebbe a produrre l'effetto, si rammenti i fatti esposti al n. 236, i quali si debbono applicare alla trasmissione di qualunque movimento. La stessa corrispondenza, fra la mobilità delle molecole ponderabili e l'azione dell'etere, è necessaria perchè quest'ultimo valga a scaldare un corpo. Essendo la temperatura di un corpo lo stato vibratorio particolare delle molecole che lo compongono, già s'intende che, per accrescerne l'energia, importa di comunicare al corpo un impulso forte e lento abbastanza perchè possa propagarsi a tutte le molecole di esso. Nè meno evidente appare questa idea, se si riflette alle circostanze che mutano le calorie di temperatura di un corpo. Queste aumentano colla temperatura e colla coesione dei corpi, e sono inversamente proporzionali alla densità di essi. Ciò si spiega dicendo che, elevandosi la temperatura, cresce la rapidità colla quale vogliono essere scosse le molecole del corpo, ed aumentando la coesione diventano maggiori gli ostacoli che si oppongono al moto delle molecole stesse, sicchè in ambedue i casi conviene accrescere l'energia dell'impulso da comunicarsi a queste molecole, onde le loro vibrazioni ingrandiscano per una quantità costante; mentre, quando il corpo si contrae, s'accorcia lo spazio che le molecole debbono percorrere, ossia l'ampiezza delle vibrazioni molecolari, e per conseguenza con un impulso minore si ottiene una vibrazione egualmente rapida. Tutto questo prova che, onde il movimento dell'etere si manifesti come calorico, dev'essere proporzionale alla mobilità delle molecole ponderabili, ossia deve avere una rapidità che non oltrepassi certi limiti. Alla medesima conclusione si arriva, analizzando i cangiamenti di volume e di stato che il calorico produce nei corpi.

2.° *La proprietà particolare della luce di scuotere la retina del nostro occhio è relativa all'organismo animale.* È questa una proposizione evidente. Se gli uomini e gli animali non avessero occhi da vedere e animo che accompagni la vista, i movimenti dell'etere cesserebbero di manifestarsi come luminosi, e tutte le combinazioni di luce e di prospettiva, che nella natura si succedono con tanta grazia e varietà da incantare pittori e non pittori, non esisterebbero più. Avverrebbe lo stesso dei suoni, se al mondo non esistessero animali dotati della facoltà di udire.

È dunque manifesto che i movimenti dell'etere si mostrano come luce, quando hanno una rapidità proporzionale alla mobilità o sensibilità della retina, ossia quando il periodo della loro vibrazione non è nè troppo breve, nè troppo lungo. La causa poi dell'insensibilità dei nostri occhi pei movimenti dell'etere, che oltrepassano questi limiti, può essere quella stessa per cui l'organo dell'udito non viene efficacemente eccitato dai suoni troppo gravi o troppo acuti, ed anche può essere il potere assorbente degli umori dell'occhio. La debole facoltà di trasmetter i raggi oscuri che hanno l'acqua e gli altri liquidi analoghi, esistenti nell'occhio, ci fa credere che molti di quei raggi sieno assorbiti prima di giungere alla retina. Ed in ciò dobbiamo ammirare la sapienza del Creatore che in una maniera tanto semplice ha sottratto il più delicato degli organi all'azione dei raggi calorifici più intensi. A quella guisa poi che i limiti dei suoni percettibili non sono gli stessi per tutte le persone, così anche i limiti dei raggi visibili variano da un individuo ad un altro.

Poste innanzi queste notizie, ognuno ne indovina le conseguenze. I movimenti dell'etere si manifestano come calorico, quando cadono fra i limiti della relativa mobilità delle molecole ponderabili; e gli stessi movimenti appajono come luce, allorchè non oltrepassano i limiti di sensibilità della retina. Le vibrazioni impresse all'aria dai corpi sonori possono allo stesso modo produrre su noi due specie d'azioni diverse: quando esse hanno una rapidità sufficiente si fanno sentire sull'organo dell'udito; ed in qualche caso, essendo o nò accompagnate da un suono percettibile (che è sempre grave), affettano tutta la superficie del corpo, producendo una sorta di tremito generale.

Facciamo ora un supposto, ed avremo quanto basti per risolvere la questione circa l'origine del calorico e della luce; supponiamo cioè, che i limiti della mobilità relativa delle molecole, coincidano coi limiti della sensibilità della retina: allora i raggi calorifici saranno sempre luminosi, e viceversa questi saranno costantemente calorifici. Se invece i limiti di una cosa fossero tanto discosti da quelli dell'altra, che nessuna delle vibrazioni dell'etere, comprese fra i primi, corrispondesse ad alcuna delle vibrazioni abbracciate dai secondi, i raggi calorifici ed i luminosi non si riscontrerebbero mai riuniti. Ma qualora fra le vibrazioni dell'etere, che si palesano in un modo, alcune fossero capaci ed altre nò di manifestarsi anche nell'altra maniera, è evidente che si avrebbero raggi calorifici luminosi ed oscuri, e raggi luminosi calorifici e freddi. E così avviene di fatto. I raggi calorifici, per esempio, esterni allo spettro solare, sono prodotti

da movimenti dell'etere che non valgono a scuotere la nostra retina; ed il calorico e la luce esistenti simultaneamente in un medesimo punto dello spettro solare, sono dovuti ad un sol movimento etereo capace di produrre i due menzionati effetti; e ciò lo confermano eziandio le osservazioni fatte al n. 650. La minore rifrangibilità dei raggi calorifici oscuri prova che il limite minimo del calorico è molto più basso del limite minimo della luce, come peraltro ci facevano supporre le qualità particolari del calorico. S'intende ora come ogni corpo abbia un certo grado di calore, mentre rarissimi sono i corpi luminosi. Si acquista parimenti un'idea dei fenomeni che si succedono nel riscaldamento di un corpo fino all'incandescenza. Da principio la sorgente calorifica comunica le sue vibrazioni all'etere in cui è ravvolto il corpo che gli stà di fronte, e per conseguenza alle molecole del corpo stesso; le quali alla loro volta agiscono sull'etere circostante, e vi eccitano ondulazioni di varia lunghezza. Le prime ad apparire sono, com'è naturale, le più lenti, e capaci solo di produrre gli effetti calorifici. Poscia, crescendo la temperatura, e per conseguenza l'agitazione molecolare del corpo, le vibrazioni ch'esso comunica all'etere arrivano ad essere capaci d'agire sulla retina, ed il corpo scaldato diventa luminoso.

Quanto ai due limiti massimi del calorico e della luce, è certo ch'essi differiscono poco: pare che nello spettro solare il limite luminoso sia più alto del limite calorifico, sicchè i raggi violetti estremi sarebbero luminosi e non calorifici. Nè vi paja ciò in contraddizione col fatto che questi raggi godono tuttavia di una attività chimica, ed anzi che questa stessa attività si estende fuori dello spettro, al di là del violetto (476); nè pensate che contraddica a quanto ho esposto circa l'identità dei raggi chimici coi luminosi (ivi). Imperocchè dal sin qui detto appare che debbono pure esistere vibrazioni eteree incapaci di mostrarsi come luce o calorico, le quali peraltro potranno avere una energia chimica particolare, essere cioè capaci di unire o separare le molecole dei corpi ravvolte nell'etere stesso; giacchè nessun fatto ci fa supporre, anzi è ridicolo il dirlo, che i movimenti dell'etere possano produrre gli effetti chimici in quanto e per quanto valgono a scuotere la retina dell'occhio nostro.

La distanza dei limiti minimi del calorico e della luce, e la prossimità dei loro limiti massimi, ci rivela perchè i raggi calorifici siano spesse volte oscuri, ed invece i raggi luminosi siano d'ordinario anche calorifici; perchè il massimo effetto calorifico non sia prodotto da quelle vibrazioni che danno origine al massimo effetto luminoso, e così via discorrendo.

SEZIONE QUARTA

ELETTROLOGIA.

657. **Oggetto e divisione dell'elettrologia.** L'elettrologia è quella parte della fisica che si occupa dei fenomeni *elettrici*. La serie di questi fenomeni vi mostrerà l'opportunità della divisione che adottiamo. Nel primo capo esporremo quanto importa di conoscere circa *le sorgenti dell'elettricità;* e nei due successivi studieremo i fenomeni di *elettro-statica*, e di *elettro-dinamica*, cioè i fenomeni che presenta *l'elettricità stando accumulata nei corpi*, e quelli che produce *movendosi*, cioè scorrendo nei corpi, o passando da un corpo ad un altro.

CAPO PRIMO

SORGENTI DELL'ELETTRICITÀ.

ARTICOLO UNICO.

658. **Principali sorgenti dell'elettricità.** Le sorgenti dell'elettrico si possono ridurre a cinque, cioè: 1.° *le azioni meccaniche*, come lo sfregamento, la pressione, la sfaldatura, ecc.; 2.° *i cambiamenti di temperatura;* 3.° *le azioni chimiche*, cioè le combinazioni e decomposizioni dei corpi; 4.° *i fenomeni vitali* che si compiono negli esseri organizzati; e 5.° *l'azione delle calamite*, ed in generale delle *correnti elettriche* medesime. Di questi due ultimi fenomeni ci occuperemo più innanzi, giacchè l'elettricità che producono si manifesta generalmente col carattere dinamico.

659. **Elettricità sviluppata nello sfregamento dei solidi.** Se con un pezzo di lana o di seta si strofina, leggermente e con celerità, un cilindro di vetro, di ceralacca o di altra sostanza resinosa, esso acquista la proprietà di attrarre i minuzzoli leggeri di carta, di paglia, di midollo di sambuco e simili. Plinio ci descrive questo fenomeno, dicendo che « quando lo strofinamento ha dato all'ambra il calore e la vita, essa attrae i minuzzoli di paglia, come la calamita attrae il ferro ». La causa di questi fenomeni, di qualunque natura essa sia, si chiama *elettricità*, voce derivata dal greco, che significa ambra; e si appella così perchè il fenomeno fu osservato la prima volta da Talete (600 anni avanti l'era cristiana) nell'ambra.

Pendolo elettrico — ago elettrico. Fra gli strumenti che servono a constatare se un corpo possiede o nò la elettricità, i più semplici sono il *pendolo* e l'*ago elettrico*. Il primo consiste in una piccola palla di midollo di sambuco (fig. 595), sospesa per un filo di seta ad un sostegno di legno o di metallo. L'ago elettrico è formato da un piccolo cilindro di midollo di sambuco, mobile in un piano orizzontale, sopra un piccolo pernio verticale.

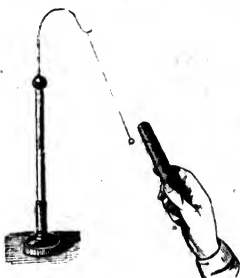



Fig. 595.

Corpi idio-elettrici ed anelettrici. Fino dal principio del secolo decimosettimo l'inglese Gilbert, e in seguito gli Accademici di Firenze dimostrarono che molte sostanze possedevano la proprietà dell'ambra di elettrizzarsi per sfregamento: tali sono il vetro, le resine, la seta, la lana, la pelle di gatto, lo solfo, la ceralacca, il diamante, il topazio, lo smeraldo, e la maggior parte delle pietre preziose, ecc. Quindi gli scienziati appellarono *idio-elettrici* questi corpi, ed *anelettrici* quelli che sfregati non davano indizio di elettricità.

Corpi conduttori — coibenti. Ma più tardi, col progredire della scienza, si conobbe che la distinzione fatta dei corpi in *idio-elettrici* ed *anelettrici* era falsa; giacchè tutti i corpi opportunamente strofinati sviluppano l'elettricità, sebbene non tutti nelle medesime circostanze ne diano indizio. Presentando al pendolo elettrico un cilindro di sostanza idio-elettrica, strofinato ad una estremità, si osserva ch'esso attrae la piccola palla solamente alla estremità strofinata: l'altro estremo non dà alcun segno nè di attrazione, nè di ripulsione. Dunque in questi corpi l'elettrico non si propaga da una estremità all'altra, ossia questi corpi non *conducono l'elettricità*. Invece se si strofina un cilindro metallico, mentre lo si tiene con un corpo idio-elettrico, per esempio con un pezzo di seta o di lana, oppure con un manubrio di vetro (fig. 596), si trova che anch'esso acquista le proprietà elettriche, e di più le manifesta in qualunque punto della sua superficie, e le perde istantaneamente, quando lo si tocca colla mano. In questi corpi l'elettrico si propaga da una estremità all'altra, ed a qualunque altro corpo col quale fosse in contatto; di modo che quando sono strofinati, mentre comunicano colla mano o con un altro corpo anelettrico, non danno

Fig.596.

indizio di elettricità, non perchè essi non ne sviluppino, ma perchè il fluido, appena sviluppato, sfugge dalla estremità strofinata all'altra tenuta colla mano, e da qui si disperde nel suolo. Perchè adunque i corpi anelettrici manifestino la loro elettricità, conviene porli in condizioni tali che questa non si disperda appena nata. Scaturisce da qui che non è ammissibile la distinzione dei corpi in idio-elettrici ed anelettrici; ma che piuttosto si debbono distinguere quanto all'elettrico, come rispetto al calorico, in *buoni* e *cattivi conduttori*. Tra i cattivi conduttori o coibenti si annoverano l'ambra, la ceralacca, lo solfo, la pece, le varie gomme e resine, il vetro, il cristallo di rocca, la tormalina, il diamante e varie pietre preziose, lo zuccaro, la cenere, gli olii, alcuni ossidi metallici, la porcellana, la majolica, la seta, le piume, la lana, i peli degli animali, l'aria e i gas privi d'umidità. Invece sono buoni conduttori tutti i metalli, e tra questi si conoscono come migliori il rame, l'argento, lo zinco, l'oro, il platino, il ferro, ecc., dopo i metalli abbiamo il carbone, la terra umida, la fiamma, il fumo, il vapore acqueo, e tutte le sostanze organiche non disseccate. Il globo terraequeo, come buon conduttore dell'elettricità, si chiama il serbatojo comune dell'elettricità. Il poter conduttore dei solidi dipende dalla loro natura; ma può dipendere anche, per una medesima sostanza, dalla struttura; così il diamante è cattivo conduttore dell'elettrico, mentre la piombaggine lo conduce bene; il vetro polverizzato ed il fior di solfo mostrano la stessa proprietà; la cera ed il sego conducono l'elettrico, se sono allo stato liquido, e mai quando sono solidi. Il ghiaccio secco è cattivo conduttore, e l'acqua invece serve bene a trasmettere l'elettrico. Dai corpi conduttori ai non conduttori si passa gradatamente; sicchè vi sono corpi che sono conduttori imperfetti dell'elettrico. Tali sono il marmo asciutto, l'alabastro, le pietre, la paglia, i legni non ben secchi, le ossa, il guscio d'uovo, l'avorio, il cuojo, ecc. Non si creda però che i buoni conduttori del calorico siano tali anche per l'elettricità.

Isolatori — isolàti. I corpi coibenti si chiamano anche *isolatori*, perchè servono a separare i corpi buoni conduttori dagli altri corpi conduttori, allorchè si vogliono elettrizzare. Un conduttore dicesi poi *isolato* quando non tocca nessun'altro conduttore. Si isola un corpo appoggiandolo sopra lastre o piedi di vetro, ovvero sospendendolo a cordoni di seta, od anche collocandolo sopra dischi di sostanze resinose. È però d'avvertire che nessun coibente isola perfettamente; di modo che un corpo elettrizzato, anche isolato, perde sempre, più o meno lentamente, di elettricità traverso ai sostegni.

Attrazioni e ripulsioni elettriche. Un'altra cosa più sorprendente è quella che stiamo per dire. Quando al pendolo elettrico si accosta un corpo elettrizzato, la pallina viene attratta fino al contatto, e poscia dal corpo stesso viene respinta. Se poi ad un pendolo, toccato con un cilindro di vetro cristallizzato, si accosta un cilindro di resina già strofinato, la pallina viene immantinente attirata, mentre è respinta dal vetro stesso. Ecco un fatto singolarissimo: un corpo elettrizzato per mezzo del vetro è respinto da questo, ma viene attratto dalla resina elettrizzata. Anzi, strofinando fra loro due corpi; si elettrizzano, in modo che l'uno attrae e l'altro respinge il pendolo, che fu prima a contatto del vetro cristallizzato; mentre il primo respinge ed il secondo attrae un pendolo elettrizzato dalla resina. Conviene dunque dire che il vetro si elettrizza in modo diverso dalla resina; e, più generalmente, che due corpi, strofinati assieme, si elettrizzano diversamente, poichè nelle medesime circostanze l'uno avvicina e l'altro allontana uno stesso pendolo elettrizzato.

660. **Ipotesi circa la natura dell'elettricità.** Per spiegare questi fenomeni i dotti fanno due ipotesi.

Sistema di Symmer. Symmer ammette due specie di elettricità: una che si sviluppa dal vetro strofinato colla lana o con una sostanza resinosa, e l'appella *vitrea;* e l'altra, che si manifesta strofinando la resina colla stessa lana o col vetro, e la chiama *resinosa.* Secondo Symmer, queste due elettricità esisterebbero allo stato di combinazione in tutti i corpi, formando un fluido ch'egli dice *neutro* o *naturale.* Così combinate le due elettricità non produrrebbero fenomeno alcuno; ma separate che sieno, per qualunque causa, siccome le molecole di un medesimo fluido si respingono, ed invece quelle di un fluido si attraggono reciprocamente con quelle dell'altro, così hanno origine tutti i fenomeni elettrici.

Sistema di Franklin. Franklin invece non ammette che una specie sola di elettricità, della quale ciascun corpo ne possiede una determinata porzione allo stato latente o di equilibrio, senza cioè darne segno alcuno. Ma quando un corpo acquista o perde di questo fluido, per la tendenza che il fluido stesso ha all'equilibrio, si manifestano i fenomeni elettrici. Il corpo che possiede un eccesso di elettricità si dice elettrizzato in *più,* o carico di elettricità *positiva,* e quello che ne ha di meno si appella elettrizzato *in meno,* o carico di elettricità *negativa.* Tanto i corpi elettrizzati in più, quanto quelli elettrizzati in meno, fra loro si respingono; ma havvi attrazione tra i corpi soprabbondanti di elettrico e quelli che ne scarseggiano. I primi corrispondono ai corpi

carichi di elettricità vitrea secondo l'altro sistema, ed i secondi a quelli elettrizzati resinosamente.

Il primo sistema, detto anche dei *dualisti* o *chimico*, venne adottato da Coulomb, da Poisson, ed in generale dagli Inglesi e Francesi; ed il secondo, chiamato sistema degli *unitarj* o *meccanico*, fu sostenuto da Cavendish, da Epino, da Cavallo, da Beccaria e da Volta, lo è dai fisici Tedeschi e da molti Italiani.

I Francesi dicono che la teoria di Franklin non si presta che molto difficilmente alla spiegazione dei fenomeni elettrici; ma confessano anche che, nello stato attuale della scienza, si sollevano molte difficoltà contro l'ipotesi di Symmer (Gavarret), e che i due fluidi di Symmer si debbono considerare come una specie di simbolismo (Daguin), od una formola che serve a rappresentare i fatti. Appare da ciò a quale dei due sistemi si debba dare la preferenza. Nello studio dei fenomeni, che anderemo esponendo nel corso di questo trattato, ci accorgeremo poi che la difficoltà di spiegarli secondo l'ipotesi di Franklin non sarà così grande, come altri la suppongono, e forse alla fin dei conti troveremo argomenti per provare chiaramente quanto sia felice l'idea di un fluido solo. Però, onde non impegnarci a sostenere l'una piuttosto che l'altra ipotesi, e volendo sempre attenerci ai fatti nell'esposizione di una scienza eminentemente sperimentale, noi considereremo le due elettricità come due modi o due stati elettrici opposti. Per esprimerle, non useremo le denominazioni di fluido *vitreo* e *resinoso*, giacchè questi due stati non appartengono esclusivamente al vetro od alla resina, che anzi uno stesso corpo può essere elettrizzato ora nell'uno, ed ora nell'altro modo; ma diremo *positiva* l'una e *negativa* l'altra, perchè sempre si destano in pari quantità, e restituiscono lo stato neutrale od ordinario dei corpi, qualora vengono riunite in proporzioni eguali. Queste denominazioni, come osserva il P. Secchi, non includono nessuna teoria, ma sono il risultato dei fatti. L'ipotesi dei due fluidi, dice il Gavarret, ci sembra che debba essere conservata, ma come pura convenzione di linguaggio. Presto o tardi, soggiunge il Daguin, bisognerà rinunciare all'idea dei due fluidi; ma il modo d'azione della causa reale dovrà essere senza dubbio interpretato nello stesso modo, perchè le cose avvengono come se questi due fluidi esistessero veramente. Se pertanto nel corso del trattato useremo qualche espressione che ci possa mostrare inclinati al sistema di Symmer, ciò sarà solo per raggiungere la maggiore chiarezza possibile; ma non si dimentichi che fin dal principio abbiamo accettato il sistema di Franklin. Diversi fisici, fra i quali Oersted e Fusinieri,

credono che i fenomeni elettrici non si debbano attribuire a nessun fluido particolare, ma che essi dipendano dalle sole forze inerenti alla materia pesante, eccitate col mezzo di particolari processi. Cantoni e qualche altro fisico vivente vogliono parimenti che l'elettricità sia un moto della materia ponderabile. Ma, come osservava il sagacissimo Belli, queste idee non furono nè precisate nei loro fondamenti, nè sviluppate nelle loro conseguenze, da poter servire alla spiegazione dei fenomeni colla stessa facilità come le ipotesi già esposte. Il P. Secchi dice che l'idea di ridurre tutto a moto è seducente, ma *vi sono dei fatti che imperiosamente impongono il contrario*, e si riscontrano *casi non dubbi in cui entrar deve in giuoco una materia imponderabile*. « L'esistenza dell'etere (scrive Lamè) è incontrastabilmente dimostrata dalla propagazione della luce negli spazj planetarj, dalla spiegazione, altrettanto semplice che completa, dei fenomeni della diffrazione nella teoria delle ondulazioni. Se questo fluido non è punto la causa unica di tutti i fenomeni, esso deve almeno modificarli, servire alla loro propagazione, complicare le loro leggi. Non è dunque possibile arrivare ad una spiegazione completa dei fenomeni della natura fisica, senza far intervenire questo agente, la cui presenza è inevitabile. Non si potrebbe dubitare che dall'intervento di questo principio dipenda il segreto o la vera causa degli effetti che si attribuiscono al calorico, all'elettricità, ecc. »

Queste ultime parole concordano pienamente con una bella idea dell'illustre P. Secchi, circa la natura dell'elettricità. Egli pensa che i due stati elettrici non siano altro che un eccesso ed un difetto di etere. Quando, così dice il dotto Romano, per una operazione meccanica, le molecole superficiali di due corpi vengono scosse inegualmente, lo strato etereo intermedio non può più mantenersi in equilibrio, e sia per vibrazione maggiore che le une concepiscono, sia per la loro diversa mobilità, da una parte si accumula una porzione di etere, più che dall'altra; sicchè l'una rimane elettrizzata in più, e l'altra in meno. L'ipotesi che l'elettrico non sia un fluido *sui generis*, ma quel medesimo etere, che serve alla propagazione della luce e del calorico, ci sembra molto probabile, e conforme alle notizie che abbiamo circa le più strette relazioni fra i fenomeni, a prima giunta disparatissimi, della luce del calorico e dell'elettricità; ed alla unità meravigliosa che la natura, di tratto in tratto, ci manifesta in mezzo a tanta varietà di cose. Nè ci deve parer strano che uno stesso fluido, mentre serve a trasmettere le vibrazioni luminose e calorifiche, possa anche passare da un corpo ad un altro, qui ac-

cumularsi e là diminuire; giacchè l'aria stessa ci offre un qualche cosa di somigliante. Questo fluido, che investe la terra, ed esercita sopra di essa una continua pressione, ora serve a propagare i suoni, ed ora si trasporta da un luogo ad un altro, in maniera da costituire delle vere correnti. Notiamo peraltro di passaggio che l'identità dell'elettrico e dell'etere si potrebbe accettare anche quando si ammettesse il sistema di Symmer: basterebbe supporre che il fluido neutro fosse l'etere.

661. **Circostanze dalle quali dipende lo stato elettrico di un corpo.** Due corpi sfregati assieme si elettrizzano: l'uno si carica dell'elettricità positiva, e l'altro piglia la negativa. Non si creda però che le diverse sostanze abbiano la proprietà di divenire costantemente positive o negative: esse possono assumere l'uno o l'altro modo elettrico, a seconda delle circostanze che accompagnano lo sfregamento. 1.° La natura dell'elettricità, che un corpo acquista, dipende dalla sostanza colla quale viene stropicciata. Così un cilindro di vetro, strofinato con un pezzo di lana, si elettrizza in più, e invece un cilindro di ceralacca, strofinato colla stessa sostanza, si elettrizza in meno. Ciascuna delle sostanze qui sotto indicate si elettrizza positivamente, quando sia strofinata da una di quelle che la seguono, e negativamente quando sia strofinata da una di quelle che la precedono: pelle di gatto, vetro liscio, lana, piuma, legno, carta, seta, gomma lacca, vetro smerigliato. 2.° La seconda circostanza, che fa variare il modo d'elettrizzarsi d'un corpo, è il grado di levigatezza della superficie, strofinando l'uno contro l'altro due dischi di vetro di diversa levigatezza, quello che ha la superficie più liscia acquista l'elettricità positiva e l'altro la negativa. 3.° Nel fenomeno ha influenza anche la direzione secondo la quale si effettua lo strofinamento. Per esempio, strofinando in croce l'uno sull'altro due nastri bianchi di seta, tolti da uno stesso pezzo, quello che è strofinato trasversalmente si elettrizza in meno e l'altro in più. 4.° Si è osservato che, quando i corpi sfregati sono della stessa natura, e si trovano a differenti temperature, il più caldo acquista il fluido negativo ed il meno caldo il positivo. 5.° Finalmente, il grado di strofinamento può esso pure mutare il senso dell'elettricità. Varie resine, strofinate leggermente col dito asciutto, o con pannilani, si elettrizzano positivamente, mentre strofinate più fortemente assumono l'elettricità negativa.

È mirabile a questo proposito il fenomeno che presenta la *distene,* sostanza minerale, generalmente di colore azzurro, da Haüy chiamata con tal nome derivato dal greco, che significa due forze, appunto perchè strofinata in alcuni punti della super-

ficie si elettrizza in più, ed in altri si elettrizza in meno, trovandosi pure in condizioni identiche.

Dal sin qui detto si può dedurre che: 1.° lo sviluppo dell'elettricità presuppone un movimento molecolare, che ne è la cagione 2.° La condizione molecolare è quella che determina fra due corpi, nel resto omogenei, il senso in cui l'elettricità si mostra di un segno o di un altro. Sicchè tal doppio stato non è nulla di assoluto, ma è qualchecosa di relativo. 3.° Qualunque poi sia il modo con cui si genera l'elettricità, tanta se ne manifesta di segno positivo, quanta di negativo.

I metalli, sfregati con un conduttore imperfetto, si caricano di elettricità negativa. Se però il metallo è facilmente ossidabile, si manifesta elettrizzato in più. Quando poi si stropicciano fra loro due metalli, avendo le cautele necessarie perchè le due elettricità non tornino a combinarsi immediatamente, si trova che ogni metallo della lista seguente acquista il fluido negativo con quelli che lo seguono, ed il positivo con quelli che lo precedono: bismuto, palladio, platino, piombo, stagno, niccolo, cobalto, rame, oro, argento, iridio, zinco, ferro, cadmio, arsenico, antimonio. I due metalli sfregati si scaldano inegualmente, e quello che si scalda di più si elettrizza in meno. Ma si avverta che, sebbene il calorico, come vedremo, sia sorgente di elettricità, pure qui non è che un effetto concomitante, e non già la causa. Si può avere uno sviluppo di elettrico anche sfregando due masse d'un medesimo metallo; ma conviene che l'uno scorra sulla superficie dell'altro, premendo costantemente gli stessi punti. A questo intento, all'una delle due masse si dà la forma di un bottone. Si è constatato che col bismuto, coll'antimonio, col ferro e col platino, il bottone si elettrizza in più, benchè si scaldi meglio della lamina; ed invece prende il fluido negativo se si usa il rame. Nè, quanto ai metalli, è da ignorare che gettando un metallo in polvere sopra una lamina della medesima sostanza, la limatura si elettrizza negativamente. Quando la lamina e la polvere sono di diversa natura, la tendenza di quest'ultima a prendere il fluido negativo si manifesta ancora, e qualche volta fino al punto da impedire che si elettrizzi positivamente, come avverrebbe se fosse in massa compatta.

662. **Sfregamento dei fluidi**. I corpi liquidi sfregati coi solidi possono parimenti dar origine al fluido elettrico. Immergendo nel mercurio carta, feltro, barbe di penne, ecc., si hanno indizj certissimi di elettricità, al momento in cui si estrae la sostanza solida dal liquido. Oltre al mercurio, molti altri liquidi, come l'alcool e l'etere, ridotti in minutissime gocce, si possono

elettrizzare per sfregamento, venendo, per esempio, projettate con impeto contro il vetro. Notevolissimo è lo sviluppo di elettrico che si ottiene per l'attrito dell'acqua molto divisa. Un getto di vapore acqueo umido, urtando contro un corpo solido, si elettrizza in più, mentre il solido si carica di elettricità negativa. Se il getto di vapore trascina seco dell'essenza di trementina, dell'olio o delle dissoluzioni di resine, l'ordine dell'elettrizzamento viene invertito. La quantità dell'elettrico, così prodotto da un getto di vapore mescolato alle piccole goccc di un liquido, aumenta colla forza elastica del vapore e coll'energia dell'urto. L'aria umida, o mescolata di qualche polvere, venendo a percuotere contro corpi solidi, si elettrizza più o meno. Un fazzoletto di seta, agitato nell'aria, mostra segni non deboli d'elettricità. Il vetro, l'ambra, la cera, le resine, ed in generale i solidi isolanti, si elettrizzano allorchè vi si spinge contro impetuosamente l'aria, per mezzo di un soffietto. Armstrong, lasciando sfuggire da un tubo di vetro un getto d'aria, compressa a 8 atmosfere in un vaso isolato, trovò quest'ultimo ora carico di elettricità positiva, ora elettrizzato in meno, e qualchevolta non ebbe indizio elettrico alcuno. Lo sviluppo dell'elettricità fu abbondantissimo, specialmente quando l'interiore del vaso era umido; ed allorchè lo riscaldò al punto da disseccarne l'aria interna, il vaso apparve allo stato neutro. Da qui si deve pertanto dedurre che lo sfregamento delle particelle d'acqua che si condensano nel getto, o delle polveri mescolate, è necessario allo sviluppo dell'elettrico, nell'urto del gas contro i corpi solidi.

663. **Elettricità sviluppata nella pressione**. Ciò che stiam per dire potrà sembrare meraviglioso, ma non sarà men vero per questo. Epino trovò che spesse volte bastava comprimere leggermente due corpi, perchè separandoli poscia si mostrassero elettrizzati in modo contrario. Più tardi Libes scoprì che, premendo un disco metallico isolato contro un altro disco di legno coperto di taffettà, dopo la separazione, il metallo si elettrizza in meno, ed il taffettà in più. Somiglianti risultati si ottengono, se all'ottone si sostituisce l'argento, il rame, lo zinco, ecc. Becquerel constatò che allo stesso modo si produce elettricità ogniqualvolta un corpo, sensibilmente compressibile, è premuto contro un altro, e da esso distaccato, per mezzo di un manico isolante, purchè l'uno almeno di questi corpi sia cattivo conduttore. È probabile che lo stesso avvenga, quando ambedue i corpi sono buoni conduttori, ed i segni elettrici non si manifestino, perchè le due elettricità si ricompongano tosto di bel nuovo. Häuy osservò che lo spato d'Islanda, il topazio, il quarzo, lo spato-

fluore, ecc., si elettrizzano positivamente solo che vengano stretti fra le dita, e nell'aria secca conservano per lungo tempo l'elettricità che hanno acquistata per tale pressione.

664. **Elettricità sviluppata nella sfaldatura dei cristalli**. Già da molto tempo si sapeva che, separando nella oscurità le laminette della mica, secondo le direzioni di sfaldatura, si aveva uno sviluppo di luce. Poscia si conobbe che, tenendo le laminette che si separano con due piccole aste isolanti di vetro, a loro fissate per mezzo di un po' di cera, si mostravano elettrizzate diversamente, e tanto meglio quanto più rapida era stata la separazione. Becquerel trovò poi che la cosa si ripeteva per diversi minerali cristallizzati e ben secchi, quali i solfati di calce e di barite, il talco lamellare, i topazj, ecc. Ed è d'avvertire che, per quanto sottili sieno le fogliette di mica, si ottiene sempre un indizio non dubbio della nata elettricità. Da ciò Becquerel conchiude che il fenomeno deve avvenire anche nella separazione di due molecole. Questo sospetto di Becquerel vien confermato dall'apparire dell'elettricità eziandio nella separazione di due superficie, che aderiscano fra loro con forza minore di quella che tiene unite le laminette d'un cristallo. Le due parti d'un foglio di carta grossa, che si lasci dividere secondo la spessezza, appajono elettrizzate in maniera contraria. Se si versa dello solfo, della gomma-lacca, della resina, allo stato liquido, in vasi di vetro o di legno, ed appena sono solidificati si separano dalle pareti del vaso, queste si mostrano elettrizzate in più, e la materia distaccatavi si conosce elettrizzata in meno.

665. **Altre sorgenti meccaniche di elettricità**. Quando si schiaccia o si spezza un corpo, spesse volte si produce un bagliore elettrico visibile nella oscurità. Così avviene della cretà, dello zuccaro, ecc. Un filo che passa alla filiera dà indizio d'elettricità; limando o raschiando certi corpi poco conduttori per l'elettrico, come lo solfo, le resine, la cera, il sego, la cioccolata, si hanno segni non dubbi di elettricità, ordinariamente positiva, nelle particelle distaccate. Ed è curioso che queste, pel legno di faggio un po' caldo, e per la gommalacca, sono negative se nell'operazione si adopera un coltello a taglio molto acuto, e sono positive se il taglio del coltello è ottuso. Per ultimo, osserviamo che Peltier pervenne ad avere sviluppo di elettricità semplicemente col piegare un filo di rame; e Sullivan, facendo vibrare un filo teso, per metà di ferro e per l'altra metà di ottone. L'esperienza riesce meglio, se il filo è lungo circa 25 centimetri, ed è per una parte di bismuto e per l'altra d'antimonio. Nè cessa d'avvenire se il filo è tutto di ferro, purchè in una sua

parte sia dolce e di tessitura fibrosa, e nell'altra duro e di struttura cristallina. Da tutti i fatti accennati appar dunque che le molecole dei corpi si elettrizzano ogni qualvolta si disturba il loro equilibrio primitivo.

666. **Elettricità prodotta dal calorico.** Il calorico, dilatando i corpi, distrugge l'equilibrio delle loro molecole, e per questo solo s'indovina che potrà produrre uno sviluppo di elettricità, la quale si manifesterà se le condizioni del corpo cimentato sieno tali da impedire la ricomposizione immediata dei due fluidi separati. Sotto questo rispetto è singolare la proprietà di certi cristalli, i quali si elettrizzano quando la loro temperatura cambi fra limiti determinati. Tale fenomeno, da Brewster appellato *piro-elettricità*, fu per la prima volta osservato nella tormalina. Le notizie che si hanno attualmente, circa la piro-elettricità di questa sostanza, si possono ridurre alle seguenti. 1.° La tormalina non diviene elettrica che nel momento in cui varia la temperatura di essa: finchè questa rimane costante, sia pure alta o bassa, non si hanno indizj di elettricità. 2.° La tormalina, allorchè viene scaldata o raffreddata regolarmente, si elettrizza per una metà in più e per l'altra in meno, e la quantità di elettrico di cui appare caricata va scemando dagli estremi al mezzo, ove trovasi uno spazio neutro. 3.° È degno d'osservazione che quella estremità o *polo,* che nello scaldarsi del cristallo prende l'elettricità positiva, nel raffreddarsi acquista la negativa, e viceversa. Il cambio delle elettricità avviene all'istante in cui la temperatura, prima di decrescere, rimane stazionaria. 4.° Se si scalda o si raffredda solamente una metà del cristallo, questa sola assume l'elettricità che gli corrisponde. 5.° Se, mentre se ne scalda una metà, si raffredda l'altra, ambedue si caricano dello stesso fluido. 6.° Rompendo trasversalmente una tormalina, mentre si raffredda o si riscalda, si trova che ogni frammento ha i due poli elettrici. Da ciò si deduce che la proprietà elettrica appartiene non alla massa, ma alle particelle della sostanza. 7.° Non si creda che tutti i cristalli di tormalina si elettrizzino egualmente, nelle medesime circostanze. Sonvene alcuni che non si lasciano elettrizzare, ed altri che lo fanno solo per un rapido cangiamento di temperatura. Quelli che meglio producono il fenomeno sono i più grossi, e dotati di ottima trasparenza, specialmente fra i cristalli di tormalina verde o turchina del Brasile. Anche questi però non manifestano le proprietà elettriche che fra certi limiti, compresi ordinariamente tra 10° e 150°. 8.° Qualunque sia l'attitudine della tormalina cimentata ad elettrizzarsi, si è osservato che la quantità di elettrico, prodotto nel raffreddarsi

del cristallo fra due limiti determinati di temperatura, è costante ed indipendente dalla velocità del raffreddamento. Da questo fatto Gaugain dedusse la legge che — *l'intensità elettrica media è direttamente proporzionale alla media velocità di raffreddamento.* Lo stesso dotto trovò che la quantità totale di elettrico, sviluppata in un raffreddamento determinato, è eguale a quella che si ottiene nell'elevare la temperatura per uno stesso numero di gradi.

Questi fenomeni non avvengono solo nella tormalina. Oltre a questa sostanza, si conoscono come *piro-elettrici* anche i seguenti cristalli: il topazio, l'axinite, il silicato di zinco, la scolecite, la boracite, la rodizite, la prehnite. La titanite, lo spato pesante ed il cristallo di rocca danno qualche volta segni di elettricità, allorchè si riscaldano molto.

667. **Sviluppo di elettricità nelle azioni chimiche.** Ma le sorgenti più abbondanti dell'elettricità sono forse le operazioni chimiche. Becquerel ha riassunto in due leggi generali i risultati delle sue belle esperienze circa questa materia, e sono le seguenti. 1.° Quando due corpi si combinano fra loro, le sostanze che si uniscono all'ossigeno, o quelle che fanno l'officio di base, si elettrizzano *in meno*, mentre l'ossigeno, od il corpo che fa l'officio di acido, si carica di elettricità *positiva*. 2.° Nelle decomposizioni l'elettricità si distribuisce in maniera inversa, cioè: i corpi che fanno l'officio di base acquistano l'elettricità *positiva*, e gli altri assumono la *negativa*.

Della prima legge n'abbiamo un esempio nelle *combustioni* ordinarie del carbone e dell'ossigeno, nelle quali l'acido carbonico ed il vapor d'acqua si caricano di elettricità positiva, ed il carbone residuo o l'idrogeno rimanente ritiene la elettricità negativa.

La medesima cosa ci viene confermata dalle dissoluzioni che agiscono chimicamente fra loro. Becquerel conobbe che: 1.° quando un acido ed una base si combinano, l'acido prende l'elettricità positiva e la base assume la negativa. 2.° Quando l'acqua si combina con un acido si elettrizza in meno, ed invece combinandosi con una base acquista il fluido *positivo.* 3.° L'acqua unendosi ad un sale si comporta come base, cioè si elettrizza in meno. 4.° Le basi, unendosi agli alcali, si comportano come un acido, ossia si elettrizzano positivamente. 5.° Nella reazione di due acidi, il più ossidante, ossia che cede più facilmente il suo ossigeno, si elettrizza negativamente. — Quando poi gli acidi fanno parte dei composti salini, sembrano conservare le stesse tendenze; così i solfati, combinandosi cogli

azotati, assumono il fluido positivo, e combinandosi coi fosfati prendono il negativo. De la-Rive ha formata la lista seguente, in cui ogni sostanza prende l'elettricità positiva, combinandosi con quella che la segue, e la negativa unendosi a quella che la precede: acido fosforico, acido solforico, acido azotico, acido cloridrico, acido acetico, acido azotoso, dissoluzioni saline, dissoluzioni alcaline. Havvi però qualche eccezione per alcune dissoluzioni saline, le quali assumono il fluido positivo, combinandosi con certi acidi, ed il negativo con certe basi; ma ciò probabilmente dipende dall'intervento dell'acqua, e dalla sua affinità preponderante per l'una o l'altra delle sostanze, che concorrono a produrre il fenomeno.

Quanto alle decomposizioni chimiche, basti osservare che l'acqua, evaporando, per esempio, da una dissoluzione di stronziana, di calce, di barite, di soda o di potassa, ossia separandosi da queste sostanze, si carica di elettricità negativa, mentre il vaso che contiene la dissoluzione si mostra carico di elettricità positiva. Invece l'acqua proveniente dalla dissoluzione di un acido o di un sale, si elettrizza in più, e lascia elettrizzato negativamente il vaso. L'acqua dei mari pertanto, evaporando, comunica elettricità positiva all'atmosfera. Alla stessa maniera gli acidi volatili combinati all'acqua, quando si sviluppano da essa, appajono elettrizzati in più, e lasciano il liquido ed il vaso carichi di elettricità negativa. Avviene questo dell'ammoniaca, che esposta all'aria perde di gas ammoniaco elettrizzato in più, e rimane elettrizzata negativamente.

Non citeremo più altro a prova delle leggi di Becquerel, fuorchè l'azione dei liquidi sui metalli, dalla quale si trasse profitto per tante belle applicazioni, come vedremo a luogo e tempo opportuno. Se in una capsula di platino si versa un liquido che non abbia alcuna azione chimica sopra questo metallo, e poi vi si immerge una laminetta metallica che sia invece attaccata dal liquido stesso, si trova che questa laminetta si carica di elettricità negativa, mentre il liquido e la capsula acquistano la positiva. Quando poi il vaso è fatto di una sostanza sulla quale il liquido produce un effetto chimico, ovvero invece di immergere nel liquido una laminetta sola, se ne introducono due capaci di esserne chimicamente modificate, si scorge che il fluido negativo si porta sul metallo che soffre la più notevole alterazione chimica. Nè per questo è necessario che i due metalli siano eterogenei: basta disporre le cose in modo che l'azione chimica sia più forte dall'una che dall'altra parte.

CAPO SECONDO

ELETTRO-STATICA.

ARTICOLO PRIMO

PRINCIPALI AZIONI ELETTRO-STATICHE.

668. **Attrazioni e ripulsioni elettriche.** Abbiamo già osservato che due pendoli elettrizzati diversamente si attraggono, ed invece carichi di elettricità eguali si respingono. È questo un fatto generale per tutti i corpi elettrizzati, e lo si esprime dicendo che — i corpi omologamente elettrici si respingono, e quelli che sono contrariamente elettrici si attraggono. Le attrazioni e le ripulsioni elettriche 1.° sono in ragione inversa del quadrato delle distanze; e 2.° stanno in ragion composta delle quantità di elettrico che i corpi posseggono. La bilancia di Coulomb serve a provarle esperimentalmente. Un tale apparato risulta da una cassa cilindrica di vetro, sul contorno della quale trovasi un cerchio graduato *c* (fig. 597). Il coperchio della cassa può essere levato ad arbitrio, ed ha in vicinanza del lembo un'apertura *r*, destinata a lasciar passare un tubo di vetro *i*, terminato in una sfera di ottone *m*. Nel centro di questo coperchio havvi un'altra apertura, alla quale è adattato un tubo di vetro *d*, che all'alto porta un cerchio graduato *e*, scorrevole lungo il labbro del tubo. Un indice *a*, unito al tubo, serve a far conoscere di quanti gradi si faccia rotare il disco *e*. Questo disco sostiene dal centro un filo metallico, il quale porta un cilindro di gommalacca, terminato da un piccol disco di talco, che nella figura è rappresentato da *n*.

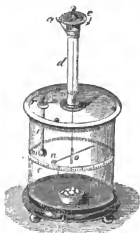



Fig. 597.

Ciò posto, per dimostrare la prima legge, si incomincia dall'essiccare l'aria dell'apparato, onde avere la minore possibile dispersione di elettricità; il che si ottiene tenendo nella cassa, per alcuni giorni, una capsula piena di calce viva. Poscia si fissa

l'indice *a* allo zero del disco *e*, e si gira il tubo *d*, che è mobile, finchè la direzione dell'asta *on* incontri lo zero del cerchio graduato *c*, ove si trova la sfera *m*. Allora si ritira questa sfera dalla cassa: la si elettrizza tenendola col tubo isolante *i*, e la si introduce di nuovo nella cassa traverso alla apertura *r*. È chiaro che il disco *n* vien tosto attratto, indi, elettrizzandosi a contatto della sfera, è respinto, e dopo alcune oscillazioni si ferma, quando la torsione del filo fa equilibrio alla forza ripulsiva, che si esercita tra il disco e la sfera. Suppongasi che la torsione segnata dall'asta sull'arco graduato *c* sia di 20°: essendo la torsione del filo proporzionale alla forza di torsione, questo numero 20 si può avere per misura della ripulsione elettrica, alla distanza a cui l'asta si trova. Per sapere il valore di questa medesima ripulsione ad una distanza minore, si gira il disco *e* nel senso della freccia, fino a che la distanza del talco *n*, dalla sfera *m*, riducasi a 10°, cioè alla metà, e si osserva di quanto bisogna far rotare il disco *e*, per condurre l'ago a quel punto. L'esperienza mostra che, nelle circostanze supposte, la rotazione del disco *e* deve arrivare a 70°. Appare pertanto che allora il filo metallico, alla estremità superiore, è in uno stato di torsione di 70°, ed alla inferiore di 10°; e quindi è torto per 80°, cioè per una quantità quadrupla di quella che corrisponde ad una distanza doppia: dunque le attrazioni e ripulsioni elettriche sono in ragione inversa del quadrato delle distanze.

A persuaderci della verità della seconda legge, si elettrizzi ancora la sfera *m*, indi, notando la ripulsione impressa all'asta *on*, si ritiri la suddetta sfera, e la si tocchi con un'altra eguale e dello stesso metallo allo stato ordinario, ed isolata con un manico di vetro: la sfera *m* cede la metà della sua elettricità all'altra sfera, perchè sono eguali; epperò, rimettendo la prima nella cassa, si trova che la ripulsione è solo la metà della primitiva. Sottraendo di nuovo alla sfera *m* la metà dell'elettrico che le rimane, la ripulsione non è che la metà dell'antecedente, e quindi il quarto della primitiva; dunque le attrazioni e ripulsioni elettriche sono in ragion composta delle quantità di elettricità, di cui sono caricati i corpi.

669. **Influenza dei corpi elettrizzati**. Le attrazioni e ripulsioni elettriche non avvengono solo fra i corpi direttamente elettrizzati; ma, come già avrete osservato, un corpo elettrizzato attrae, e dopo il contatto spesse volte repelle i corpi leggeri che gli sono vicini. Questo fenomeno dipende da un'altra azione più generale dei corpi elettrizzati, cioè dalla loro *influenza* sui corpi circostanti, che si trovano allo stato neutro. Figuratevi un corpo *m*

(fig. 598) elettrizzato in più; mettete poco lontano da esso un cilindro di ottone, isolato per mezzo d'un sostegno di vetro, e provveduto di due piccoli pendoli elettrici, a fili conduttori di canape. Ben presto l'azione del corpo *m* sul cilindro si manife-

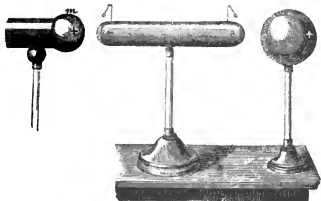



Fig. 598.

sta, giacchè anche questo corpo appare elettrizzato, come si conosce dalla ripulsione dei pendoli. Ma domanderete: di quale elettricità si mostra carico questo corpo? Per saperlo, basta avvicinare al pendolo della estremità rivolta al corpo *m* una bacchetta di ceralacca strofinata: si scorgerà subito che il pendolo è ripulso, ossia che desso, e quindi l'estremo a cui è unito, è carico di elettricità negativa. La medesima ceralacca avvicinata al pendolo dell'altra estremità, lo attrae; il che mostra come questa sia invece carica di fluido positivo. Dunque un corpo conduttore isolato, per influenza di un corpo elettrizzato, si elettrizza alle due estremità in modo opposto. Non si creda però che vi sia segno di elettricità solo ai due estremi: passando da qui al mezzo del cilindro, si trovano ancora i due fluidi, ma con intensità decrescente, fino ad una certa sezione del cilindro, ove esso non appare più elettrizzato. Questa parte si chiama il *punto neutro* od il *punto medio*, ed è vicina, ma non coincide, colla metà della lunghezza del cilindro, trovandosi sempre dalla parte del corpo *m*, più o meno lontano dal mezzo stesso, a seconda della distanza e del grado di elettrizzamento del corpo *m*. Allontanando questo corpo dal cilindro, i due pendoli ricadono sul momento. Da ciò si deduce che il fluido elettrico non passa dal corpo *m* al cilindro, perchè in tal caso, anche rimosso quel

corpo, dovrebbe rimanere nel cilindro qualche apparenza elettrica; ma che il fluido neutro del cilindro vien decomposto, per influenza dell'elettricità positiva del corpo *m*: il fluido di nome contrario viene attratto nell'estremità vicina, e quello dello stesso nome è ripulso nella parte lontana. Le cose stanno così, finchè il cilindro è davanti all'altro corpo, ma tolto via questo, i due fluidi si ricompongono immediatamente.

Adesso è facile imaginare cosa avverrà quando il cilindro, invece di essere isolato, comunichi col suolo. Prima di tutto piantiamo sul cilindro parecchi pendoli in fila, tutti eguali ai due descritti, poscia attacchiamo al cilindro una catenella metallica che arrivi fino al suolo, ed avviciniamolo di nuovo al corpo elettrizzato. I pendoli ci indicano ancora elettricità, ma con diversa distribuzione: essi divergono cioè in tutta la estensione del cilindro, e la divergenza va scemando dalla estremità più vicina al corpo *m* alla più lontana, ed appajono tutti carichi del fluido contrario a quello posseduto dal corpo *m*, perchè l'elettricità dello stesso nome è ripulsa nel suolo. Questo avviene tanto che il cilindro comunichi col suolo da parte della estremità rivolta verso il corpo *m*, quanto che vi comunichi da parte dell'altra estremità, perchè in ogni caso il fluido ripulso guadagna i punti più lontani del sistema. Allontanando il cilindro dall'altro corpo, mentre esso è in comunicazione del suolo, cessa ancora ogni apparenza elettrica. Ma se, prima di toglierlo dall'influenza del corpo elettrizzato, lo si leva dalla comunicazione del suolo, esso rimane costantemente elettrizzato in modo contrario al corpo *m*, perchè s'impedisce all'elettricità respinta nel suolo di ritornare nel cilindro, per combinarsi col fluido attratto, il quale, non trovando poscia il contrario, vi resta allo stato libero. Se poi si volesse avere il cilindro elettrizzato allo stesso modo del corpo *m*, basterebbe mettere fra loro, ed a contatto di quello un altro corpo conduttore isolato non meno lungo: il sistema si elettrizzerebbe come fosse un sol corpo; e separando le due parti, prima di toglierle dall'influenza del corpo *m*, l'uno rimarrebbe elettrizzato in un modo e l'altro nel modo opposto.

Corpo induttore e corpo indotto. Il corpo *m*, per cui il cilindro viene elettrizzato, si chiama corpo *induttore* od *influenzante*, ed il cilindro dicesi corpo *indotto* od *influenzato*.

Sfera d'azione. La decomposizione del fluido neutro del corpo indotto, per la presenza del corpo induttore, non avviene qualunque sia la distanza dei due corpi; ma la quantità del fluido neutro decomposto, ossia l'intensità dei due fluidi che si manifestano agli estremi del cilindro, diminuisce coll'aumentare del-

l'intervallo che separa il corpo indotto dall'induttore, e ad un certo punto cessa totalmente. Imaginando pertanto una linea retta, che congiunga il centro del corpo induttore col punto il più lontano, al quale avviene ancora, sebbene debolmente, l'induzione, ed al di là del quale cessa totalmente, o per lo meno sensibilmente, e con raggio eguale a questa retta supponiamo dal centro del corpo induttore descritta una sfera, essa sarà quella che si chiama *sfera d'azione.*

Influenza d'influenza. Se dopo il primo cilindro se ne mette un altro, da esso poco lontano, viene anche questo elettrizzato per influenza, diventando il primo cilindro, che è indotto rispetto al corpo ***m***, induttore in ordine al secondo. Che se dopo questo ne collochiamo un terzo, un quarto, e così via, avremo una serie di cilindri tutti elettrizzati per influenza. A questo modo si potrà estendere la sfera d'azione, ma non indefinitamente, perchè l'influenza dall'uno all'altro va sempre diminuendo.

670. **Movimenti dei corpi elettrizzati.** La teoria della elettrizzazione per influenza spiega i movimenti di attrazione e ripulsione reciproca dei corpi elettrizzati. Sia M (fig. 599) un corpo fisso elettrizzato in più, ed N un corpo mobile, situato a piccola distanza dal primo: questo corpo N, rispetto all'elettricità, potrà essere in tre principali condizioni. 1.° Facciamo l'ipotesi *che sia conduttore ed allo stato naturale.* Da principio il corpo M agirà per influenza sopra N, decomponendone il fluido neutro, attraendo il negativo, od in genere quello di nome contrario al proprio, e respingendo il positivo, o quello dello stesso nome. Allora, se il corpo N è isolato, la parte di esso rivolta al corpo M proverà una tendenza ad accostarglisi, e la parte opposta una tendenza ad allontanarsene; ma siccome il massimo di tensione dei due fluidi corrisponde ai punti ***a*** e ***b***, e le attrazioni e ripulsioni elettriche sono in ragione inversa del quadrato delle distanze, così l'attrazione fra i punti ***a*** e ***c*** supera la ripulsione fra i punti ***b*** e ***c***, ed il corpo mobile vien in fin dei conti sollecitato ad accostarsi al corpo M, per effetto di una risultante eguale all'eccesso della forza attrattiva sulla forza ripulsiva. Ecco la spiegazione dell'attrazione che un corpo elettrizzato esercita sul pendòlo o sull'ago elettrico.

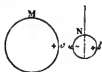



Fig. 599.

2.° Imaginiamo ora *che il corpo N sia conduttore ed elettrizzato.* Se desso è carico della elettricità contraria a quella del corpo M, havvi attrazione. Che se possiede l'elettricità dello stesso nome, sarà respinto fra certi limiti di distanza, ma ad una pic-

cola distanza potrà essere attratto; giacchè il corpo N, oltre al fluido libero, possiede anche il neutro, il quale viene decomposto per l'influenza del corpo M, onde l'emisfero *b* riceve una nuova quantità di fluido positivo, mentre l'emisfero *a* nella sua estremità si carica di fluido negativo; havvi dunque, come nel caso precedente, attrazione e ripulsione: la seconda forza supera da principio la prima, perchè la quantità di fluido positivo sul corpo N è maggiore della negativa, ma, diminuendo l'intervallo *ac*, la forza attrattiva cresce più rapidamente della ripulsiva, e la può superare.

3.° Finalmente, se il *corpo* N *fosse cattivo conduttore*, è chiaro che, quando sia elettrizzato, sarà respinto od attratto a seconda dell'elettricità che possiede; e se invece è allo stato neutro, potrà essere attratto, allorchè il corpo induttore abbia abbastanza di energia di decomporre una buona quantità del fluido neutro.

Da queste considerazioni possiamo conchiudere che non v'è attrazione o ripulsione elettrica se non tra corpi elettrizzati; o meglio che le azioni elettriche avvengono fra i fluidi elettrici, e che la materia ponderabile dei corpi non si sposta che per seguire l'elettricità che possiede. Per conseguenza, quando si dice che un corpo elettrizzato attrae i corpi allo stato naturale, si deve sempre intendere che, prima di attrarli, esso li elettrizza per influenza.

671. **Se l'induzione sia immediata o mediata.** Non si accordano i fisici nello spiegare come l'azione del corpo induttore si trasmetta all'indotto, per modificarne lo stato elettrico. Alcuni dicono che il corpo induttore agisce immediatamente, e trasmette a distanza la sua azione, indipendentemente dal mezzo in cui si trova: l'aria non avrebbe che una parte passiva, impedendo solo la ricomposizione dei due fluidi. Altri invece ammettono che l'azione del corpo induttore sull'indotto sia mediata, e dipendente dal mezzo: l'influenza cioè si trasmetterebbe dal corpo induttore ai varj strati del mezzo isolante, e da questi al corpo indotto. Questa seconda ipotesi è molto più probabile della prima.

Corpi dielettrici — facoltà induttiva. I corpi, che in generale sono cattivi conduttori, traverso ai quali si trasmette l'induzione o l'influenza elettrica, si chiamano *dielettrici*. Siccome però i cattivi conduttori non sono tutti dielettrici allo stesso modo, così ammettesi che ogni corpo abbia un poter dielettrico caratteristico, o, come lo chiamano, una specifica *facoltà induttiva*. Faraday avrebbe trovato che questa facoltà è eguale per tutti i gas, e varia nei solidi.

In quanti modi cessi l'influenza. L'influenza può cessare in tre modi: o perchè si ritira il corpo indotto dalla sfera d'azione del corpo induttore, oppure perchè si scarica la sorgente istantaneamente (mettendola in comunicazione col suolo) o lentamente. A quest'ultimo scopo si usa l'*eccitatore* o *scaricatore,* il quale non è altro che un sistema di due archi metallici, ordinariamente di ottone, muniti di un manico isolante (fig. 600), collegati a cerniera per una estremità, e terminati all'altra da una piccola sfera parimenti metallica.

Fig. 600.

Contraccolpo elettrico. Quando l'influenza cessa istantaneamente, nel corpo indotto si produce il contraccolpo elettrico, ossia l'urto delle due elettricità che accorrono dalle due parti opposte del corpo, per ricongiungersi e rimettersi all'equilibrio.

672. **Elettroscopj**. La dottrina dell'influenza elettrica ha suggerito l'invenzione d'un piccolo apparato, detto *elettroscopio a foglie d'oro* o di *Bennet,* che serve molto meglio del pendolo e dell'ago elettrico, a constatare la presenza della elettricità in un corpo. Esso consiste in una bottiglia B (fig. 601) di vetro, appoggiata sopra un disco di ottone, e chiusa da un turacciolo ricoperto di vernice isolante, la quale è estesa pure a tutta la parte superiore della bottiglia. Attraverso di questo turacciolo passa un'asta di ottone, terminata esteriormente da una sfera C dello stesso metallo, ed internamente da due sottilissime foglie d'oro *ii.* Per conoscere se un corpo è elettrizzato o nò, lo si avvicina alla sfera C: quando lo sia, le foglie d'oro divergono fra loro, mentre nell'altro caso non danno indizio di movimento. Ed ecco un modo semplicissimo di spiegare il fenomeno: se il corpo A è carico di elettricità, le foglie dello strumento, elettrizzate per influenza, si caricano della stessa elettricità, e quindi si repellono. Desiderando poi di sapere anche quale sia l'elettricità del corpo A, dapprima si tocchi con un dito la sfera C, mentre è sotto l'influenza del corpo elettrizzato. È manifesto che l'elettricità dello stesso nome di quella di cui è carico il corpo A, viene respinta nel

Fig. 601.

suolo, e lo strumento riesce carico dell'elettricità contraria, che diminuisce dalla sfera alle foglie d'oro. In seguito, rimovendo il dito ed il corpo induttore a un tempo stesso, l'elettricità posseduta dall'istrumento si distribuisce equabilmente sulla sfera, sull'asta e sulle foglie. Allora si avvicini lentamente alla sfera C un cilindro di ceralacca, strofinato con un panno di lana: se la divergenza delle foglie aumenta, segno è che l'elettricità dell'apparato (contraria a quella del corpo prima presentato) è respinta alla parte inferiore, e quindi è negativa; ma se la divergenza delle foglie diminuisce, segno è che l'elettricità dell'apparato è attratta alla parte superiore, e quindi è positiva.

673. **Elettroforo**. Un altro apparato, che dipende dal medesimo principio dell'influenza elettrica, è l'*elettroforo,* imaginato dal celebre Volta, non tanto per conoscere, quanto per avere una buona quantità di elettrico. Esso è formato da due dischi di legno: l'uno B (fig. 602), sul quale è steso uno strato di resina, e l'altro A coperto di una foglia di stagno, e munito di un manico isolante. Volendo far uso di questo apparato, innanzi tutto si scalda il disco A, onde disseccarlo bene; indi con una pelle di gatto si batte fortemente lo strato resinoso del disco B, che pertanto si carica di elettricità negativa. Dopo, ciò si mette il disco A sopra l'altro B (fig. 603). La resina, che non è con-

Fig. 602. Fig. 603.

duttrice della elettricità, si conserva ciò nonostante elettrizzata, ed anzi decompone il fluido neutro del disco A, attrae il positivo verso la superficie, di cui trovasi a contatto, e respinge nella superficie opposta il fluido negativo. Ognuno capisce perciò che, toccando in questo istante la foglia di stagno, si sottrae al disco il fluido negativo, e quindi lo si lascia carico di elettricità positiva.

674. Macchina elettrica. Ma allo studio dei fenomeni elettrici importa di poter all'uopo produrre una quantità ancora più abbondante di elettrico; ed a questo servono le *macchine elettriche.* Una macchina elettrica consiste essenzialmente in due corpi che si strofinano, ed in uno o più conduttori isolati, sui quali si accumula l'elettricità. La prima macchina elettrica fu ideata da quel medesimo Ottone di Guericke che trovò la macchina pneumatica. Essa era formata da un globo di solfo o di resina che si faceva girare mediante un manubrio, strofinandolo al tempo stesso colla mano. Ramsdem nel 1766 le diede la forma che si usa tuttora. In questa macchina il corpo *strofinato* è un disco di vetro FF (fig. 604), impernato a guisa di ruota sopra

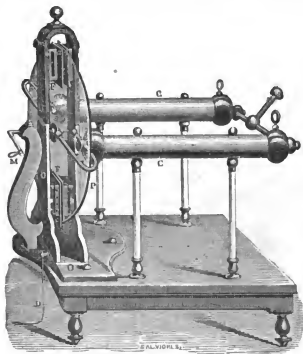



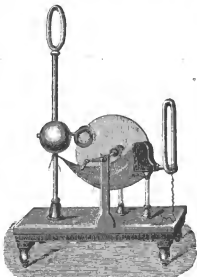
Fig. 604.

un asse orizzontale, che passa negli occhielli di due sostegni, e porta ad una estremità una manovella M, che serve a farlo rotare. Così rotando, esso passa frammezzo agli *strofinatori,* cioè a quattro cuscinetti di panno o di cuojo imbottiti, i quali sono fermati, a

due a due, contro l' una e contro l' altra delle due facce piane del disco medesimo. Questi cuscinetti comunicano col suolo, per mezzo della catenella D, e nelle superficie a contatto del disco sono ricoperti di uno strato d'amalgama di zinco o di stagno. Il disco rotante passa anche tra due pezzi di ottone, che rivolgono contro di esso un buon numero di denti, e perciò si dicono *pettini*. Questi denti arrivano fin dappresso al vetro, ma non lo toccano, ed i pettini si uniscono poscia a due cilindri CC, che formano il conduttore, isolato per mezzo di quattro aste di vetro.

Baumgartner dispone le cose in modo diverso; cioè, non fa uso che di un sol pajo di cuscinetti, ed ai conduttori dà la forma sferica od anullare (fig. 605). Onde poi il disco perda poco di elettricità pel contatto dell'aria, lo si copre, al momento delle esperienze, con un velo di taffetà verniciato.

Fig. 605.

Qualunque però sia il modo adottato nel riunire il corpo strofinato allo strofinante ed ai conduttori, il principio fondamentale è sempre lo stesso. Dopo qualche giro, il disco di vetro si trova fortemente elettrizzato in più, su tutta quella sua parte che nel girare striscia fra i cuscinetti, mentre questi si elettrizzano in meno, e si scaricano nell'atto stesso, essendo in comunicazione col suolo. L'elettricità positiva del disco decompone per influenza il fluido neutro del conduttore, e vi attrae il fluido negativo, il quale pertanto, svolgendosi dalle punte dei pettini, va a combinarsi col fluido positivo del disco, e lascia il conduttore isolato carico di elettricità positiva. Così la macchina diviene una sorgente continua di elettricità positiva; ma ognuno s'accorge che potrebbe allo stesso modo dare l'elettricità contraria, qualora invece di mettere i due cuscinetti in comunicazione col suolo, si mantenessero questi isolati, e si facesse comunicare col suolo il conduttore.

Tensione sempre limitata della macchina elettrica. Secondo questa spiegazione, sembrerebbe che la quantità del fluido raccolto sul conduttore dovesse crescere indefinitamente, a seconda della velocità e del tempo di rotazione del disco; ma non avviene così, e la tensione della macchina elettrica ha sempre un limite. Ciò dipende da parecchie cause. 1.° Gli isolatori della macchina non sono mai perfetti, e per conseguenza perdono sempre di elettricità, e tanto più facilmente quanto maggiore è la carica. 2.° L'aria, contenendo sempre una certa quantità di vapori acquei, per contatto leva alla macchina una porzione dell'elettricità sviluppata. 3.° L'elettricità della macchina, crescendo successivamente di tensione, arriva ad acquistare abbastanza di forza per superare la resistenza che trova nella poca conducibilità del vetro o dell'aria circostante, ed allora appena prodotta si ricongiunge o si disperde. Da qui s'intende come la tensione stessa debba avere un limite, che sarà raggiunto quando la quantità di elettrico sviluppato eguaglierà la somma delle quantità perdute, per le tre cause accennate.

Elettrometro a pendolo. A conoscere la tensione della macchina serve l'elettrometro a pendolo, che risulta di un'asta di legno, fissata a vite sopra uno dei conduttori, e provveduta di un piccolo quadrante C (fig. 606), intorno al cui centro può girare un pendolo elettrico B. A misura che la macchina si carica, il pendolo diverge, e cessa di ascendere quando essa raggiunge il massimo di tensione. Cessando dal movere il disco, il pendolo elettrico si abbassa con rapidità nell'aria umida, e lentamente nell'aria secca. Da ciò si può dedurre una prova di quanto abbiam detto, che il conduttore perde in ogni caso una porzione di elettricità, tanto maggiore quanto più l'atmosfera è umida.

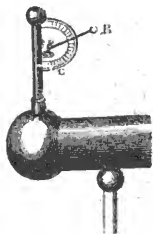



Fig. 606.

675. **Macchina elettrica a doppia elettricità.** Nairne, inglese, imaginò una macchina elettrica, dalla quale si possono avere contemporaneamente le due elettricità. Essa si compone di due conduttori isolati e non comunicanti fra loro, dei quali uno A (fig. 607) porta lo strofinatore, e l'altro B è provveduto del pettine. Fra questi due conduttori trovasi il corpo strofinato, ossia un cilindro cavo di vetro, che può essere girato mediante un manubrio. È manifesto che, al moversi di questo ci-

lindro, il conduttore A si carica di elettricità negativa, e l'altro B di elettricità positiva.

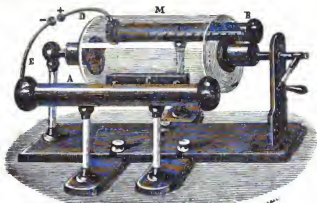



Fig. 607.

676. **Macchina idro-elettrica.** Un'altra macchina elettrica, in cui l'elettricità si sviluppa per sfregamento del vapore acqueo molto umido, è quella costrutta da Armstrong, e che si appella appunto *idro-elettrica.* Questa macchina consiste in una caldaja di lamiera di ferro, a focolare interno, ed isolata su quattro piedi di vetro (fig. 608). La sua lunghezza è di circa un metro e mezzo, ed il suo diametro di 6 decimetri. Un indicatore a tubo, situato verticalmente sulla parte destra della caldaja, e comunicante con essa pe' suoi capi, segna il livello dell'acqua nell'interno; ed un piccolo manometro ad aria compressa ne indica la pressione. Alla parte superiore la caldaja comunica con un tubo: da qui il vapore può effluire pel rubinetto *r*, che viene aperto, quando

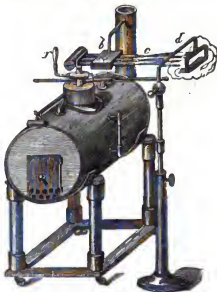



Fig. 608.

si vuol caricare la macchina, ed il vapore stesso abbia acquistata una tensione sufficiente (che ordinariamente è di 4, 6, od anche 8 atmosfere). Il vapore, passando dal rubinetto *r*, entra in un secondo tubo, da cui partono altri tubi minori *c* di legno, i quali formano al loro mezzo una ripiegatura, e sono circondati da acqua fredda, contenuta in una piccola cassetta *b*. Per questa disposizione, il vapore si condensa e si elettrizza in più per attrito, ed urtando contro il corpo *d* nell'uscire all'esterno, gli comunica la propria elettricità.

ARTICOLO SECONDO

DISTRIBUZIONE E COMUNICAZIONE DELL'ELETTRICITÀ NEI CORPI.

677. **Distribuzione dell'elettrico sulla superficie dei corpi conduttori.** Quando un corpo conduttore isolato è elettrizzato, lo è solamente alla superficie. Chi amasse accertarsi di ciò può elettrizzare una sfera cava di ottone, sostenuta da una colonnetta di vetro, e forata in una parte della sua superficie (fig. 609), e poscia toccarla internamente con un piccolo disco metallico, fissato all'estremità di una bacchetta di gommalacca (che si chiama *piano di prova*). Si scorge che, qualunque sia il punto interno toccato, non si raccoglie mai di elettricità, e l'apparato di prova non si elettrizza che toccando la sfera esternamente. Lo stesso principio viene confermato dal fatto che, per elettrizzare egualmente due sfere metalliche di egual diametro, l'una massiccia e l'altra cava, isolate in qualunque modo, si richiede la stessa quantità di elettrico. Per mettere in evidenza la medesima cosa, Beccaria imaginò l'esperimento del *pozzo elettrico*. Egli elettrizzava un cilindro di metallo isolato, e poscia, per mezzo di un filo di seta, vi introduceva un secchiolino parimenti metallico e lo faceva scorrere lungo la parete interna del vaso. Così operando, il secchiolino veniva mai elettrizzato, mentre lo era quando toccava la parete esterna. V'è un'altra bella esperienza che può chiarire ancor meglio questa dottrina: si chiude una palla metallica isolata entro due emisferi cavi d'ottone, che le si applicano esattamente, l'uno da

Fig. 609.

un lato e l'altro dal lato opposto, per mezzo di manichi isolanti; poscia la si elettrizza, e tosto si levano dalla palla, rapidamente e simultaneamente, i due emisferi. Or bene si trova che la superficie convessa di questi è elettrizzata, ma la sfera non mostra di esserlo neppure per poca quantità.

678. **Spessore elettrico — e tensione elettrica**. Dai fatti precedenti scaturisce la conseguenza che l'elettrico nei corpi conduttori si porta alla superficie, ed ivi forma uno strato sottilissimo. Lo spessore di questo strato è costantemente piccolo, ma non deve essere nullo; sicchè bisogna ammettere che l'elettrico si diffonda un poco, tanto all'esterno che all'interno, oltre il limite geometrico della superficie, che lo accoglie. L'idea pertanto che ci dobbiamo formare di un corpo conduttore elettrizzato, per esempio in più, è ch'esso abbia uno strato di etere più condensato alla sua superficie, e viceversa un conduttore elettrizzato in meno lo abbia rarefatto. Quando la carica di questo corpo aumenta o diminuisce, può essere che lo spessore elettrico aceresca o decresca nella stessa proporzione; ma ognuno intende che esso può anche mantenersi costante, variando in quella vece la densità del fluido. Nella prima ipotesi la quantità di elettrico contenuto in una particella elementare della superficie sarà proporzionale al *suo spessore;* e nella seconda essa sarà invece proporzionale alla *sua densità*. Siccome peraltro è affatto indifferente attenersi all'una piuttosto che all'altra di queste due ipotesi, così ora si usa la parola *spessore elettrico* ed ora l'altra *densità elettrica*, sempre per indicare la medesima cosa, cioè la quantità di fluido che in un momento determinato è sparso sopra una particella elementare della superficie.

Lo strato di elettrico accumulato alla superficie del corpo conduttore elettrizzato, essendo composto di molecole omogenee che si repellono reciprocamente, deve essere dotato di forza espansiva, e così esercitare una pressione contro il mezzo coibente che lo circonda. Questa tendenza dell'elettrico a sfuggire dal corpo ove si trova, od a premere contro il mezzo circostante, si appella *tensione elettrica*. L'etere condensato alla superficie di un corpo elettrizzato in più, dice l'illustre P. Secchi, deve agire con forza espansiva, proporzionale alla sua nuova densità, sull'etere naturale dei corpi circostanti e dello spazio in cui si trova. Se il corpo poi è elettrizzato in meno, allora l'azione proviene dal mezzo naturale circostante. Ma tale azione è sempre analoga a quella di una pressione.

La tensione elettrica così concepita può spiegare i fenomeni d'influenza, prodotti dai corpi elettrizzati. Si può supporre che

lo strato elettrico di un corpo, per la sua forza espansiva, agisca sullo strato contiguo dell'etere naturale del mezzo, e per questa via sul corpo posto a distanza. Gli effetti di tale azione saranno diversi a seconda che i corpi influenzati sono cattivi o buoni conduttori dell'elettrico. Nel primo caso il fluido si condenserà da strato a strato, in modo decrescente coll'aumentare della distanza; ma l'effetto si manifesterà solo alla prima ed all'ultima superficie. Nel secondo caso poi, avverrà nella massa dell'elettrico totale del corpo ciò che per un corpo cattivo conduttore avviene in una semplice molecola. Siccome in questi corpi l'etere può scorrere da una parte all'altra, la pressione, indotta nel mezzo circostante dal corpo elettrizzato in più, sposterà il fluido nell'altro corpo dal lato vicino al primo, e lo spingerà nella parte più lontana, ove soffre minor pressione. È chiaro che se il corpo elettrizzato lo è in meno, il vero induttore sarà il corpo in istato naturale, e le cose avverranno allo stesso modo, ma con segno opposto. Lo stesso principio della pressione, che dal corpo elettrizzato si trasmette agli altri per l'etere del mezzo, rende buon conto delle attrazioni e ripulsioni elettriche; giacchè è naturale che i corpi, nei quali l'etere è così premuto, quando sieno sufficientemente mobili, saranno avvicinati oppure allontanati, a seconda delle pressioni che dall'etere circostante vengono a soffrire.

Laplace dedusse analiticamente dalle leggi di Coulomb che *la tensione* in una particella elementare della superficie del corpo elettrizzato *è proporzionale al quadrato dello spessore elettrico,* che vi corrisponde; e si può facilmente scoprirne la ragione. Supponiamo, per esempio, che ad un primo strato elettrico se ne aggiunga un secondo eguale. Questo, considerato singolarmente, genera uno sforzo contro il mezzo circostante, identico a quello prodotto dal primo; e con ciò solo abbiamo raddoppiato l'effetto. Ma qui non finisce tutto: le molecole d'uno strato non si repellono solamente fra loro, ma anche con quelle dell'altro strato; e le ripulsioni esercitate fra le molecole del primo e del secondo strato producono una pressione doppia di quella che corrisponde all'espansione di uno strato solo. In breve: è raddoppiato il numero delle molecole che costituiscono lo strato elettrico, ed è parimenti divenuta doppia la forza espansiva di ciascuna molecola, la quale non è che l'effetto delle ripulsioni che soffre dalla massa delle altre. Dunque la pressione è cresciuta in ragion del quadrato.

679. **Distribuzione dell'elettrico sopra un corpo sferico.** Dobbiamo ora esaminare se l'elettrico abbia sempre lo stesso spessore in tutti i punti della superficie del conduttore

ove si raccoglie, oppure se la cosa varii al cambiare della forma del corpo. L'esperienza prova che in un corpo sferico ogni punto della superficie possiede la stessa quantità di elettrico. E ne è chiara la ragione: essendo tutte le molecole del fluido egualmente ripulse dal centro del corpo, ove si può supporre ridotta la risultante delle loro reciproche ripulsioni, tutte debbono disporsi alla stessa distanza dal centro medesimo, e quindi si troveranno egualmente fitte sulla superficie i cui punti distano tutti per una stessa quantità dal centro. In altri termini: la massa elettrica, fatta astrazione dal corpo in cui si trova, per l'uniforme ripulsione delle sue parti, deve assumere una forma sferica; ora la forma del corpo, nel quale si trova la massa stessa, coincide colla forma che essa deve assumere indipendentemente dal mezzo; dunque avrà lo stesso spessore in tutta la superficie del corpo.

680. **Distribuzione dell'elettrico sopra un ellissoide.** Se il corpo elettrizzato è un ellissoide (fig. 610), la grossezza dello strato elettrico cessa di essere uniforme, e si accumula verso le parti più acuminate, sulle quali lo strato elettrico raggiunge così un massimo di grossezza. Infatti le molecole del fluido elettrico, espandendosi o respingendosi reciprocamente, soffrono quel medesimo effetto meccanico a cui soggiacerebbero se fossero respinte da una forza residente nel centro del corpo elettrizzato, che agisse in ragione inversa del quadrato della distanza. Per conseguenza le molecole in *b* vengono allontanate dal punto *o*, con forza maggiore di quella che agisce sulle molecole in *a;* quindi, potendo le molecole stesse scorrere sul corpo, che è supposto conduttore, da *b* tenderanno a portarsi verso *a*, ossia il fluido elettrico si accumulerà in *a*, diminuendo in *b*. Questo movimento sarà tanto più rapido quanto maggiore sarà la differenza fra i due raggi dell'ellissoide; epperò anche la quantità di fluido, che da *b* passa in *a*, sarà proporzionale ai raggi stessi. Non si creda però che tale movimento abbia da essere indefinito, nel senso che tutto il fluido elettrico di *b* si debba portare in *a* (nell'ipotesi che da *a* non effluisca, o per lo meno non effluisca in quella proporzione in cui vi arriva da *b*); giacchè siccome le ripulsioni elettriche sono anche in ragion di-

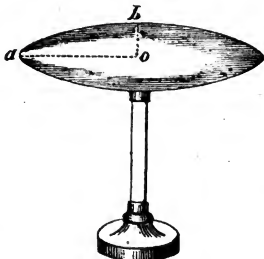



Fig. 610.

retta delle masse dei fluidi, così in quanto il fluido si accumula in *a*, intanto esercita una ripulsione sempre crescente sul fluido che tende a seguirlo, quindi le molecole elettriche in *b* si fermeranno, quando la forza di ripulsione del fluido accumulato in *a* eguaglia la forza che si suppone agente dal centro.

Di qui appare come in un corpo ellissoide l'efflusso dell'elettrico debba avvenire *prima*, *meglio* ed *unicamente* alla parte acuminata. Imperocchè onde avvenga l'efflusso dell'elettrico è necessario che la pressione o la tensione di esso raggiunga un certo limite. A questo punto l'elettrico arriva prima nella parte acuminata, ed effluendo ivi, il fluido delle altre parti vi accorre tosto, avanti d'acquistare la forza sufficiente a sfuggire per altra via.

681. **Azione delle punte.** Chicchessia indovina adesso cosa avverrà di un corpo conduttore elettrizzato armato di una punta metallica, o messo in presenza di una simile punta che comunichi col suolo. Una punta si può considerare come un ellissoide d'un raggio infinitamente piccolo rispetto all'altro, quindi deve accumularsi con grande facilità alla parte acuminata, ove pertanto, raggiungendo ben presto il massimo di tensione, effluirà. Per conseguenza un corpo elettrizzato, armato di una o più punte, si scaricherà, se non istantaneamente, certo in un tempo brevissimo, proporzionale alla quantità di elettrico che possiede, alla sua conducibilità ed alla acutezza, non che al numero delle punte. Se poi si applica una punta ad un corpo conduttore comunicante col suolo, e posto a piccola distanza dal corpo elettrizzato, questo viene parimenti ridotto allo stato neutro. Imperocchè il corpo armato della punta si elettrizza per influenza: il fluido di nome contrario a quello del corpo elettrizzato si accumula alla punta, acquista la tensione sufficiente per effluire da qui, e si slancia sul corpo elettrizzato, neutralizzandone l'elettricità. In ogni caso adunque la punta neutralizza l'elettricità del corpo elettrizzato: o determinando l'efflusso, se è applicata al corpo elettrizzato medesimo, o favorendo l'efflusso della elettricità contraria, se applicata al corpo conduttore, messo in presenza dell'elettrizzato. Per questo motivo, ogni qualvolta si adatta una punta al conduttore della macchina elettrica, o gli si mette di fronte un conduttore armato di punta e comunicante col suolo, non è più possibile caricare la macchina come prima. E qui è bello da osservare il curioso fenomeno del *venticello elettrico*, da cui è accompagnata l'esperienza. Avvicinando la mano od il volto alla punta messa sul conduttore della macchina, si prova una sensazione di frescura, come se da quella spirasse verso di noi un vento leggero; ed appressandovi la fiamma d'un lume, questa è

piegata (fig. 611) come da un soffio continuo. Se invece si mette il lume sul conduttore della macchina, e si tien la punta colla mano (fig. 612), la fiamma è volta come se il venticello pro-

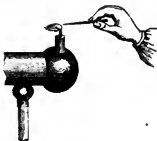



Fig. 611. Fig. 612.

venisse da noi, e non dalla macchina. Questo fenomeno dipende dalla ripulsione che il fluido della punta esercita sull'aria contigua, tostochè questa pure si è elettrizzata. Lo stesso principio spiega l'esperienza del *mulinello* od *arganetto elettrico*. Si adatta al conduttore della macchina elettrica un pernio, e su questo si posa, in modo che vi rimanga in bilico, un piccolo cappelletto armato di cinque o sei raggi metallici (fig. 613), curvati tutti nello stesso verso, e terminati a punta. Quando si carica la macchina, il sistema mobile comincia a girare, ed arriva ben tosto a rotare con celerità sorprendente, in direzione opposta alle punte. Ognuno si accorge della causa di questo fenomeno: l'aria in contatto delle punte si carica della elettricità che effluisce da esse, quindi le respinge, e viene essa pure respinta. Si ha una conferma di questa spiegazione dal fatto che il fenomeno non avviene nel vuoto pneumatico.

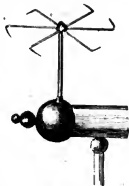



Fig. 613.

Un'altra circostanza che accompagna la scarica di una macchina elettrica armata di punta, è questa che, se l'esperienza vien fatta nelle tenebre, si scorge intorno alla punta stessa l'apparenza di una piumetta luminosa, che ora è una luce viva e concentrata sulla punta stessa, e si chiama *stelletta elettrica;* ed ora è una luce meno viva e più diffusa, e si chiama *fiocchetto elettrico* (fig. 614). La stelletta si produce quando la macchina è elettrizzata in meno, e il fiocchetto allorchè l'elettricità della macchina è positiva.

Fig. 614.

682. **Comunicazione della elettricità a contatto — fra i coibenti — fra i conduttori.** La elettricità, come già sapete, si può comunicare per contatto, ma in modo diverso fra i cattivi ed i buoni conduttori. Se due corpi, uno elettrizzato e l'altro no, sono ambedue coibenti, lo scambio di elettricità avviene appena fra le due porzioni di superficie a contatto: il corpo elettrizzato perde, e l'altro acquista nei soli punti di contatto. Se dei due corpi l'elettrizzato è conduttore, e l'altro è coibente, il primo perde in tutta la sua superficie, proporzionalmente al numero dei punti di contatto. Se al contrario è coibente l'elettrizzato e conduttore il secondo, allora quello cede l'elettricità solamente nella parte di contatto, e l'altro vi è elettrizzato in ogni punto della sua superficie; e la quantità di elettrico, che dall'uno passa nell'altro, è proporzionale alla grandezza relativa della superficie che perde e di quella che acquista; giacchè l'equilibrio non si stabilisce che quando l'elettrico ha tensione eguale in ambedue. Se finalmente ognuno dei due corpi è conduttore, l'elettricità si divide fra essi in un rapporto che dipende da quello delle loro superficie. I corpi conduttori si suppongono sempre isolati.

683. **Diverse esperienze.** Per mettere in evidenza i principj esposti furono imaginate diverse esperienze, delle quali ne accenno qui alcune.

Persona isolata in comunicazione colla macchina elettrica. Essendo il corpo umano un buon conduttore dell'elettrico, è chiaro che quando si fa salire una persona sopra uno sgabello isolatore, e la si mette in comunicazione col conduttore della macchina elettrica in moto, il fluido elettrico si distribuisce simultaneamente sul conduttore e sul corpo della persona isolata, il quale pertanto diviene e si mantiene elettrizzato: sicchè esso attrae e respinge i corpi leggeri: i suoi capelli si drizzano per ripulsione reciproca; e se altri gli accosta un dito, ne trae una scintilla, come dalla macchina stessa, provando entrambi il senso di puntura.

Scampanio o timpano elettrico. La stessa proprietà dei corpi conduttori ha suggerita la bella esperienza dello *scampanio elettrico.* Chi vuol ripeterla sospenda ad un'asta orizzontale, che comunichi colla macchina elettrica, tre campanelli A, B, C (fig. 615), per mezzo di due catene metalliche e di un filo di seta, e li disponga in modo che quello del filo di seta si trovi in mezzo, e di più sia in comunicazione col suolo in una maniera qualunque. Ma ciò non basta: nei due intervalli che vi sono fra i campanelli si sospendano, per mezzo di fili di seta, due piccole

sfere di ottone; e dopo ciò si carichi la macchina. È naturale che i campanelli estremi si elettrizzano in più, attraggono le sfere di ottone, e, appena avvenuto il contatto, le respingono come cariche della stessa elettricità: queste sfere, cariche di elettricità positive e respinte dai campanelli estremi, sono attratte dal medio, che comunicando col suolo, sotto l'influenza degli altri due, venne elettrizzato in meno. Ma anche qui, avvenuto il contatto, le due sfere sono ripulse dal campanello medio, e attratte dagli estremi; e così esse continuano in questo movimento oscillatorio per tutto il tempo che la macchina rimane carica, e percuotendo or nell'una ed or nelle altre campanelle, le fanno suonare.

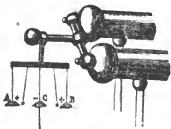



Fig. 615.

Ragno elettrico. Se fra i campanelli, invece di una sferetta metallica si mette un corpo conduttore in forma di ragno, si ottiene l'esperimento del *ragno elettrico;* giacchè tale conduttore nel suo movimento imita il ragno che va tessendo la sua tela.

Danza elettrica. Alla medesima esperienza si dà un'altra disposizione che ha qualche importanza, e la si appella *la danza elettrica*. Si mette una campana di vetro sopra un piatto di ottone, comunicante col suolo, e si gettano nella medesima delle piccole palle di midollo di sambuco (fig. 616), od alcune figurine di legno secco. Poscia si fa passare nel collo della campana, a sfregamento dolce, un'asta di ottone, terminata alla estremità inferiore da una sfera della stessa sostanza o meglio da un disco, e posto alla parte superiore in comunicazione col conduttore della macchina elettrica. Appena questa viene caricata, la sfera od il disco che trovasi nell'apparato, si elettrizza per contatto, attrae le palle di sambuco, e caricatele della propria elettricità le respinge, di modo che ritornando sul piatto

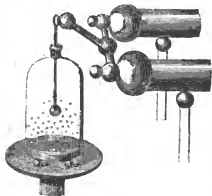



Fig. 616.

inferiore, pèrdono pel contatto la propria elettricità, e sono di nuovo attratte dal corpo superiore. Così continuano finchè agisce la macchina, balzando su e giù con gran velocità; e quando si adoperano dei fantocci di carta o di legno secco, questi si rizzano in piedi, saltellano, e vanno in giro in maniera curiosa a vedersi.

684. **Comunicazione dell'elettricità a distanza.** L'elettrico di un corpo può passare in un altro corpo, anche situato a qualche distanza. Dopo quanto abbiam detto, è manifesto che i fluidi di due corpi elettrizzati, direttamente, o l'uno per influenza dell'altro, tendono a riunirsi, e rimangono nelle superficie dei corpi stessi per la resistenza che incontrano ad abbandonarla. Ma, se diminuisce questa resistenza, o cresce la loro tensione, arriva un certo punto in cui le due elettricità si ricompongono di fatto, traverso all'aria od a quel qualunque mezzo che le separa. Questo movimento, o questa ricomposizione dei due fluidi, che Faraday appella *scarica di rottura*, produce la scintilla elettrica.

La massima distanza alla quale possono essere collocati i due corpi, senza impedire la scarica, si chiama *distanza esplosiva* o *lunghezza della scintilla*. Essa può variare da una frazione di millimetro a più centimetri; e dipende dallo spessore dello strato elettrico nei due corpi ai punti ove avviene la scarica, e dalla natura del corpo coibente frapposto. Volta ed Harris hanno trovato che in generale la distanza a cui avviene la scarica cresce in ragion diretta semplice della quantità di elettricità; sicchè per ottenere la scarica ad una distanza doppia abbisogna una quantità doppia di elettricità, ad una distanza tripla una tripla quantità di elettricità. Ma Gaugain osserva (*Comp. Rend.*, 6 novembre 1865) che la scarica dipende dallo spessore dello strato elettrico accumulato ai punti ove avviene la scarica, ossia dallo *spessore esplosivo*, il quale non è proporzionale allo spessore medio dello strato totale ripartito sulla superficie dei corpi. Inoltre, conviene tener conto della conducibilità e della forma dei corpi stessi. Quanto poi alla natura del mezzo coibente frapposto, lo stesso Harris ha scoperto che le quantità d'elettrico necessarie per produrre la scarica, ad una distanza costante, variano esattamente colla densità dell'aria. La stessa quantità di elettrico si scarica dunque ad una distanza doppia quando riducasi a metà la densità dell'aria. Per dimostrare questa legge si fa l'esperienza dell'*uovo elettrico*. Si applica al piatto della macchina pneumatica un globo di vetro (fig. 617), avente due colli chiusi da pezzi metallici, traverso ai quali passano due verghe

terminate da due palle parimenti metalliche, e che possano avvicinarsi l'una all'altra. Estraendo l'aria da questo globo, la stessa quantità di elettrico può scaricarsi a distanze sempre più grandi, a misura che la densità dell'aria divien minore; ed in fine, quando la pressione interna non è più che di qualche millimetro, l'elettricità passa in modo continuo fra le due palle, formando uno sferoide luminoso che assomiglia nella forma ad un uovo.

Fig. 617.

La lunghezza della scintilla viene misurata esperimentalmente per mezzo dello *spinterometro*. Consiste questo apparato in una colonnetta verticale, che sostiene un'asta orizzontale scorrevole in essa, e terminata ad una estremità in una palla metallica. Volendo far uso di questo strumento, si avvicina più o meno la palla al conduttore elettrizzato, finchè scocca la scintilla, e poscia se ne conosce la lunghezza misurando sull'asta graduata la distanza della palla dalla colonnetta.

Nell'aria la scintilla è rettilinea, finchè non oltrepassa i cinque o sei centimetri. Al di là di questo limite, essa comincia a divenire tortuosa, e per maggiori distanze presenta l'aspetto d'una striscia luminosa a *zig-zag*. La causa di tale fenomeno non è ancora ben nota. Si tenta di spiegarlo per la resistenza o per la mancanza di omogeneità dell'aria. Alcuni cioè suppongono che l'aria, venendo compressa sulla direzione del fluido elettrico, gli oppone in questo senso la massima resistenza, e lo fa quindi deviare. Altri invece pensano che, non essendo l'aria omogenea e tenendo in sè sospese molte particelle eterogenee, si elettrizzi diversamente nelle sue parti, e quindi determini la linea tortuosa o spezzata della scintilla, la quale si spicca costantemente verso quelle parti che sono meglio disposte ad elettrizzarsi. A conferma di queste spiegazioni si osserva che, nell'esperienza dell'uovo elettrico, al rarefarsi dell'aria le scintille divengono meno sinuose.

Lo *splendore* della scintilla aumenta colla quantità di elettrico che si scarica, e diminuisce al diminuire della densità del mezzo, ossia della quantità di materia ponderabile contenuta nello spazio che dessa traversa, e nel vuoto perfetto la scarica dell'elettricità cessa di essere luminosa. Da qui si conchiude che la luce elettrica è prodotta dalla combinazione delle due elettricità, attraverso un mezzo ponderabile.

Un altro carattere della scintilla è il *colore*, che varia colla natura dei corpi fra i quali avviene la scarica, e colla natura e densità del mezzo. La scintilla che scocca fra due cilindretti di carbone è gialla: fra due palle di ottone inargentate è verde: nell'aria ordinaria e nell'acido carbonico la scintilla elettrica che si ottiene fra due palle di ottone è bianca, nell'aria rarefatta e nell'idrogeno è rossa, e verde nei vapori di etere e di mercurio. Fusinieri osservò che i due fluidi, mentre combinandosi producono la scintilla, trasportano sempre delle sottilissime particelle dei corpi dai quali partono. Così, per esempio, dopo la scarica elettrica avvenuta tra due sfere, una d'argento, e l'altra di rame, si scorgono sulla prima alcune particelle di rame, e sulla seconda alcune di argento. Il colore della scintilla nasce appunto dall'infiammazione delle particelle trasportate dal flusso elettrico.

Per dimostrare la breve durata della scintilla, ossia la rapidità colla quale si separano e si ricompongono i due fluidi elettrici, si usa fare l'elegante esperienza del *quadro magico*. Sopra una lastra di vetro, o di qualunque altra materia coibente, si incollano delle fogliette di stagno o di altro corpo conduttore, tagliate in forma romboidale, disponendole in modo che ciascuna sia separata dalle due vicine per un piccolo tratto, e l'insieme di questi intervalli presenti all'occhio la figura d'una parola, d'un fiore, d'un arco (fig. 618), o simili. Mettendo un'estremità della serie in comunicazione col conduttore della macchina elettrica, e facendo comunicare l'altra col suolo, quando l'esperienza sia fatta nell'oscurità, ad ogni scintilla che scocca, tutta la figura espressa sul quadro apparisce illuminata. La stessa cosa si può ottenere adoperando un tubo, sul quale sieno incollate le medesime fogliette in modo da formare una striscia a spirale (fig. 619), le cui estremità finiscano in due parti metalliche. Quando nelle tenebri si tiene in mano una di queste estremità, e si presenta l'altra al conduttore della macchina elettrica, la striscia appare luminosa, ed il tubo diviene *scintillante*. Qualunque sia la forma

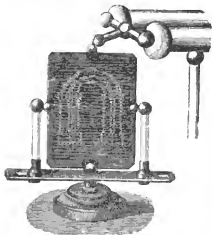



Fig. 618

dell'esperimento, il principio da cui dipende è sempre lo stesso. L'elettricità della macchina elettrica, comunicata alla prima foglietta metallica, decompone per influenza il flüido neutro della seconda, attrae il fluido di nome contrario, e combinandosi con esso produce la scintilla, mentre lascia elettrizzata la foglietta medesima. Questa agisce alla sua volta sul fluido neutro della terza foglietta, e ripete il fenomeno; e così via discorrendo fino all'ultima foglietta, la cui elettricità passa nel suolo. Tutte queste successive decomposizioni e ricomposizioni di elettricità avvengono con tale rapidità, che le scintille corrispondenti appajono al medesimo istante, in tutti gli intervalli.

Fig. 619.

Ora esaminiamo i fenomeni che accompagnano la scintilla. I principali sono tre: lo *scoppio*, il *calore* e l'*azione chimica*. La piccola esplosione, che si ode all'istante in cui scatta la scintilla, è l'effetto del rapido scuotimento che viene comunicato all'aria, od in generale al mezzo, dal conflitto dei due fluidi che si ricompongono. Si mette in evidenza questa cosa con due esperimenti. Il primo è quello che si fa col *termometro elettrico* di Kinnersley. Questo apparato non è già un termometro, ma si appella così perchè serve anche a mostrare come il passaggio della scintilla possa produrre un elevamento di temperatura; e risulta da un tubo di vetro (fig. 620), a robuste pareti, chiuso alla parte superiore, ed alla parte inferiore messo lateralmente in comunicazione con un secondo tubo aperto all'alto. Nel primo

Fig. 620.

tubo sono fisse a due piccole aste di ottone due palle dello stesso metallo: l'una pende dall'alto, e la seconda si eleva dal basso; s'incontrano presso alla metà del recipiente, ma rimangono a piccola distanza. Per usare dello strumento allo scopo indicato, vi si versa acqua in quantità sufficiente perchè si elevi ad un terzo circa dell'altezza nei due tubi comunicanti; indi si elettrizza la palla superiore, fino al punto in cui il fluido acquisti abbastanza di tensione per attraversare il mezzo, ed unirsi all'elettricità contraria dell'altra palla, elettrizzata per influenza. All'istante in cui scocca la scintilla, si scorge che l'acqua nel tubo maggiore viene depressa, e poscia si eleva di nuovo: l'aria è dunque scossa, ossia condensata, e rarefatta in seguito, nel passaggio della scintilla. Questo fatto suggerì a Beccaria l'idea del *mortajo elettrico*, che peraltro può servire a provare esperimentalmente il fatto medesimo. Esso non è che un tronco di cono retto, nella cui base superiore vennero praticate due piccole cavità: la più profonda e più stretta è cilindrica, e l'altra, in cui si apre la prima, è semisferica. Nella capacità cilindrica s'incontrano senza toccarsi le estremità arrotondate di due fili metallici, che attraversano la grossezza del cilindro, e si prolungano esternamente; ed alla cavità semisferica si adatta ottimamente una piccola palla. Quando si fa scoccare la scintilla fra le estremità interne dei due fili metallici, la pallina vien gettata fuori dall'apparato, per lo scuotimento prodotto nell'aria della capacità dal passaggio dell'elettrico. L'effetto è maggiore versando nel buco cilindrico una goccia d'acqua.

Quanto al calorico della scintilla, per ora basti osservare che il liquido nel termometro elettrico, non ritornando subito al livello primitivo mostra che l'aria interna si è per poco dilatata, e quindi ha ricevuto calorico al momento in cui venne traversata dalla scintilla. Inoltre, si aggiunga che, se nel mortajo elettrico alla goccia d'acqua viene sostituita una goccia di un liquido volatile, come sarebbe, per esempio, l'alcool canforato, la pallina viene lanciata ad una distanza sorprendente. Da ciò si deve dedurre che il liquido interno non è solamente spostato, ma ancora obbligato a vaporizzare, e per conseguenza che la scintilla gli comunica calorico.

Finalmente per mostrare l'azione chimica della scintilla si usa la pistola di Volta, ossia una piccola bottiglia di ottone, che si chiude esattamente con un turacciolo di sughero, dopo d'avervi introdotta una mescolanza detuonante di idrogeno ed ossigeno. Sulla parete laterale di questa piccola bottiglia havvi una tubulatura, nella quale passa un'asta metallica, terminata da due pie-

cole sfere A e B (fig. 621), e fissata in un tubo di vetro, che la isola dal resto dello strumento. Se, tenendo colla mano la bot-

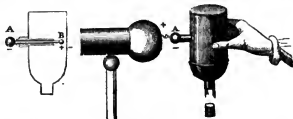



Fig. 621.

tiglia, la si avvicina alla macchina elettrica dalla parte della sfera A, questa si elettrizza in meno per influenza, e la sfera B in più, mentre la parete si carica di elettricità negativa. All'istante in cui la scintilla scocca tra la sfera A e la macchina, se ne spicca una seconda tra la sfera B e la parete del vaso, la mescolanza gasosa detuona, ed il turacciolo è lanciato a notevole distanza.

ARTICOLO TERZO

ACCUMULAZIONE DELL'ELETTRICITÀ NEI CORPI.

685. **Elettricità dissimulata — dissimulazione dell'elettricità.** Imaginiamo due dischi A e C (fig. 622) conduttori, l'uno posto di fronte all'altro, e separati da una lamina coibente B, di vetro, di resina o di seta. Quando, per esempio,

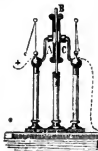
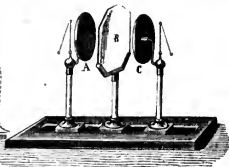



Fig. 622. Fig. 623.

si carichi il disco A di elettricità positiva e il disco C di elettricità negativa, le due elettricità si attraggono traverso alla

lamina coibente, e non danno più indizio della loro presenza, o per lo meno non si palesano che nella minima porzione. I due dischi però, quando la lamina coibente sia abbastanza forte da resistere alla pressione delle due elettricità, che tendono a ricomporsi, non si scaricano; giacchè, allontanati che sieno, mostrano nuovamente le quantità di elettrico che hanno ricevuto. Bisogna dunque dire che i due fluidi, disposti sopra le due superficie vicine dei dischi conduttori, e impediti di combinarsi dalla lamina coibente, si sono neutralizzati in modo da rendersi inetti, o in parte o in tutto, ad agire sull'elettroscopio. L'elettricità in questo stato si dice *dissimulata*, e il fenomeno stesso si chiama *dissimulazione dell' elettricità*. Questo fatto è di somma importanza, e per cavarne le conseguenze che ci interessano gioverà stabilirne le particolarità.

Dissimulazione dell'elettricità sopra due dischi eguali, separati da un coibente, conduttori e carichi di eguali dosi di elettricità contrarie. Supponiamo, innanzi tutto, che i due dischi conduttori abbiano la stessa forma e la medesima grandezza, la lamina coibente sia piana in ambedue le superficie, ed abbia spessore uniforme in tutta la sua estensione. Facciamo inoltre l'ipotesi che la macchina, o la sorgente qualunque che somministra l'elettricità positiva al disco A, sia esattamente della stessa forza di quella che fornisce l'elettricità negativa al disco C, di modo che tutto sia eguale da una parte e dall'altra della lamina coibente B. È manifesto che, essendo le cose in questa maniera, i due dischi possederanno cariche eguali di elettricità contrarie. La tensione elettrica è notevolissima sulle superficie interiori dei due dischi, dove i fluidi possono premere la lamina coibente con tanta forza da aprirsi un passaggio traverso alla medesima, onde ricomporsi. Sulle superficie esteriori invece la tensione elettrica è ben poca cosa, ed eguale in ambedue. Si esprime questo fatto dicendo che la dissimulazione è sempre imperfetta; e la ragione di ciò è che i due fluidi, accumulati per la maggior parte sulle facce interiori, restano ancora separati dallo spessore della lamina coibente, mentre è solo al contatto che si ponno neutralizzare perfettamente. La dissimulazione pertanto, sempre imperfetta, sarà meno lontana dall'essere totale quanto meno la lamina coibente sarà grossa; ma nel medesimo tempo quanto più sarà sottile questa lamina, tanto meno potrà resistere alla pressione elettrica, e quindi a parità di superficie tanto meno sarà la quantità di elettrico dissimulato.

Dissimulazione dell'elettricità sopra due dischi eguali, separati da un coibente, e carichi di dosi diverse di elettricità contrarie.

Ora, supponendo di usare ancora dei medesimi dischi, ammettiamo che siano diverse le loro cariche elettriche. Un punto di A possegga, per esempio, *due* molecole di fluido positivo, ed il suo simmetrico in C ne abbia *una* di negativo. L'attrazione tra i due fluidi contrarj è reciproca; quindi: 1.° la lamina coibente sarà premuta tanto da una parte che dall'altra; perchè ciascuna molecola positiva è attratta dalla negativa, ossia ciascuna è attratta per uno, ed essendo in due, eserciteranno contro la lastra uno sforzo eguale *a due:* la negativa poi è attratta da ambedue le positive, ossia è attratta per due, e quindi eserciterà contro la lastra uno sforzo eguale *a due*. 2.° La tensione elettrica sulla superficie esteriore di A sarà maggiore che sulla superficie esteriore di C; poichè una molecola qualunque di elettrico in quanto dissimula in tanto è dissimulata, in quanto attrae una certa quantità di fluido contrario in tanto non può esercitare azione alcuna su altre molecole, ossia è neutralizzata; ma la molecola di una parte è dissimulata da due contrarie, e queste invece ne dissimulano una sola; dunque questa patisce una neutralizzazione maggiore delle altre due, ossia queste avranno una tensione maggiore di quella che può rimanere all'altra. 3.° La tensione elettrica sulla superficie esteriore di C può essere anche nulla; ed è chiaro: la dissimulazione è sempre imperfetta a parità di carica nei due dischi; ma se le masse dei due fluidi contrarj sono diverse, la tensione della minor quantità potrà essere dissimulata dalla tensione della maggiore, compensandosi la distanza colla massa: la quantità minore deve impiegare tutta la sua forza nel dissimulare una quantità maggiore, e sebbene dissimuli imperfettamente (perchè non ne può dissimulare una quantità eguale), è però dissimulata totalmente.

686. **Accumulazione dell'elettricità**. Dalla proprietà che ha l'elettrico di essere dissimulato si trae profitto per accumularlo sopra un corpo, in quantità molto maggiore di quella che è possibile nelle circostanze ordinarie. Invece di caricare direttamente i due dischi di elettricità contrarie, si fanno comunicare i medesimi, l'uno, per esempio C, col suolo, e l'altro A col conduttore della macchina elettrica. Il disco A si elettrizza in più come la macchina, e se fosse solo, fatta astrazione dall'influenza della forma, acquisterebbe la stessa tensione elettrica del conduttore della macchina, cioè una quantità proporzionale al rapporto della sua superficie a quella del conduttore; ma la presenza del disco C, separato dal primo per mezzo del disco B, cambia affatto il fenomeno. Imperocchè il

fluido positivo del disco A agisce per influenza, traverso al vetro, sul disco C, attrae il fluido negativo, e respinge il positivo nel suolo: il fluido negativo del disco C reagisce, alla sua volta, sul fluido positivo del disco A e lo neutralizza, di modo che la tensione elettrica sul disco A non fa più equilibrio alla tensione della macchina, onde il disco A può da questa ricevere una nuova quantità di elettrico, la quale agisce come la prima sul disco B, ecc.

Limite dell'accumulazione. A questo modo si può accumulare per gran quantità il fluido elettrico nel disco A; ma s'ingannerebbe assai chi stimasse che tale accumulazione potesse essere illimitata. Imperocchè la quantità del fluido negativo in C è determinata dall'azione del fluido positivo in A; ma questo, dovendo agire a distanza, non attrae la massima quantità di fluido contrario che può attrarre, ossia non ne attira che una quantità minore. Se in C havvi una quantità di fluido negativo minore della positiva che si trova in A, ne viene di conseguenza che la dissimulazione in A è sempre imperfetta, ossia che la faccia esteriore di A ha costantemente una certa tensione elettrica, che deve crescere colla quantità totale di fluido ivi accumulata, come è confermato da ciò che, quando s'interrompono le comunicazioni del sistema dissimulante colla macchina e col suolo, il pendolo di A diverge alcun poco, mentre quello di C rimane a contatto del disco. Epperò s'intende che, quando la tensione dell'elettrico sulla superficie esteriore di A sarà divenuta eguale alla tensione della macchina, il fluido cesserà di scorrere da questa a quella.

Allontanamento dei due dischi. Se allora, interrotte le comunicazioni colla macchina e col suolo, si separano i due dischi (fig. 623), le elettricità dissimulate si manifestano, come si scorge dalla divergenza dei loro pendoli.

Scarica lenta — istantanea. Ma isolato il sistema di questi due dischi, la dissimulazione potrà cessare anche per scarica lenta, ovvero per scarica istantanea. Volendo ottenere l'effetto nella prima maniera, si tocca col dito dapprima il disco A, cioè quello che contiene l'eccesso di elettricità; sicchè tutto il fluido positivo, non dissimulato dal negativo del disco C, effluisce nel suolo. Allora, siccome il disco C non dissimula che una quantità di elettrico minore di quella che possiede, così dopo quel primo contatto esso viene ad avere una carica più forte dell'altro: e di fatto il pendolo di A si abbassa, e quello di C si eleva. Toccando in appresso il disco C, il pendolo di esso ri-

cade, mentre diverge il pendolo di A; ossia la carica maggiore si scambia di nuovo; e così via, continuando a toccare alternativamente or l'uno ed or l'altro dei due dischi, si va gradatamente diminuendo la quantità di elettrico posseduta da ciascheduno, finchè si arriva a ridurli allo stato naturale. Ma, come ognuno capisce, questo processo esige molto tempo. Per ottenere istantaneamente la scarica dell'apparato, si fa uso dell'eccitatore composto: se ne applica una estremità alla superficie esterna di un disco, e si avvicina l'altra al secondo. Allora scocca una scintilla, che ordinariamente è corta e grossa, e l'apparato viene scaricato, se non in tutto, per la maggior parte dell'elettrico che possiede.

687. **Condensatori**. Tutti gli apparati che servono ad accumulare l'elettricità nella maniera descritta, per l'effetto che producono, si appellano in generale *condensatori*. Quello che abbiamo usato nelle esperienze precedenti, si chiama condensatore a *lamina di vetro;* esso giova ad accumulare una grande quantità di elettrico, ma, per lo spessore del vetro, non può essere caricato che per mezzo di una macchina, di un elettroforo, od in generale di una sorgente elettrica di grande tensione.

Condensatore di Volta. Volta imaginò pertanto un condensatore che potesse accumulare in sè, e rendere poscia sensibile l'elettricità di debolissima tensione, di cui non ne darebbero indizio gli altri apparati. Esso si compone di due piatti metallici perfettamente piani: il superiore è munito di un manico isolante, e l'inferiore di un piede, il quale, perchè lo strumento serva ad un maggior numero di esperienze, giova che esso pure sia isolante. Le due lamine sono separate da uno strato sottilissimo di vernice di ceralacca (sciolta nell'alcool), steso sulle due superficie che vengono a contatto. Il primo disco si appella *scudo,* e l'altro chiamasi *base.* Sullo scudo si pòsa la sorgente di quella debolissima elettricità che si tratta di rendere sensibile, e la base vien messa in comunicazione col suolo. Il manico dello scudo serve ad alzare quest'ultimo, ed a portarlo a contatto di un elettrometro a foglie d'oro od a pagliette, per conoscere la specie e la tensione della raccolta elettricità.

Elettrometro — condensatore di Volta. Riesce assai comodo, come ideò lo stesso Volta, l'adattare il condensatore all'elettrometro medesimo, sia questo a pagliette od a foglie d'oro. Volendo usare dell'apparato, si mette ancora la sorgente elettrica in comunicazione con uno dei dischi, che piglia allora il nome di *piatto collettore,* e si fa comunicare l'altro col suolo, toccan-

dolo con un dito leggermente bagnato (fig. 624). L'elettricità del corpo posto sul piatto collettore, vi si diffonde, agisce traverso alla vernice sul secondo disco e sulla mano, per respingere nel suolo il fluido dello stesso nome, ed attrarre quello di nome contrario. I due fluidi si accumulano quindi sui due dischi, senza che avvenga divergenza nelle foglie, perchè havvi dissimulazione delle due elettricità. Caricato così l'apparecchio, se si allontana prima il dito, indi la sorgente elettrica, non si produce ancora divergenza alcuna; ma sollevando il piatto (fig. 625) superiore, la dissimulazione cessa, l'elettricità del secondo disco si distribuisce equabilmente sull'asta e sulle foglie d'oro, che pertanto divergono assai, come cariche dello stesso fluido.

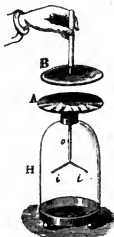
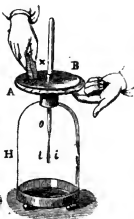



Fig. 625. Fig. 624.

688. **Quadro fulminante di Franklin.** Il quadro fulminante di Franklin è un condensatore a lamina di vetro, risulta cioè da una lastra di vetro, incastonata in una cornice di legno, e ricoperta su ciascuna delle sue facce di una foglia metallica, ordinariamente di stagno. Queste foglie hanno tutto all'intorno uno spazio nudo o privo di metallo, della larghezza di circa sei centimetri, ed una di esse comunica colla cornice, mediante una listarella di stagno. Per caricare il quadro fulminante, si presenta alla macchina elettrica la foglia di stagno isolata (fig. 626), tenendo l'apparato colla mano nel punto A, in modo da comunicare

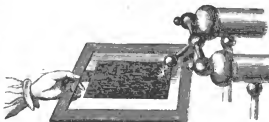



Fig. 626.

coll'altra foglia. L'elettricità viene allora dissimulata come nel condensatore a lamina di vetro, e vi si accumula allo stesso modo.

689. **Bottiglia di Leyda.** La bottiglia di Leyda, così detta dalla città in cui fu inventata, è dovuta all'olandese Musschembroek, e secondo altri al suo discepolo Cuneo; e si può considerare come un quadro frankliniano piegato, e ridotto a superficie curva. Per costruirla si piglia una bottiglia di vetro sottile, di capacità più o meno grande, a seconda della quantità di elettrico che si vuole accumulare: se ne riveste l'interno con una lastra metallica, o meglio la si riempie di foglie metalliche sottilissime, che, aumentando la superficie, aumentano la capacità della bottiglia per l'elettrico; e si copre la parete esterna nei due terzi più bassi con una foglia di stagno, e nell'altra parte con una vernice di ceralacca. L'apertura della bottiglia dev'essere chiusa da un turacciolo di sughero, attraversato di un'asta metallica, che alla parte superiore si curvi in forma di uncino, e termini in una piccola sfera, ed alla parte inferiore comunichi, mediante alcuni fili metallici, colla lastra o colle foglie dell'interno. L'asta insieme alle foglie interne formano l'*armatura interna*, e la foglia di stagno s'appella l'*armatura esterna*.

Per caricare la bottiglia di Leyda, si mette l'armatura esterna in comunicazione col suolo (fig. 627), e l'interna col conduttore della macchina elettrica. L'armatura interna per contatto riceve l'elettricità positiva, e l'armatura esterna per influenza si carica dell'elettricità contraria. Venendo dissimulate le due elettricità, la carica della bottiglia è molto maggiore di quella

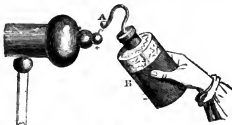



Fig. 627.

che sarebbe possibile pel semplice contatto col conduttore della macchina. Quando poi si faccia comunicare l'armatura interna col suolo, e l'esterna col conduttore della macchina elettrica, avverrebbe ancora la stessa accumulazione di elettrico, ma l'armatura interna sarebbe elettrizzata in meno e l'altra in più: l'azione reciproca e l'effetto sarebbero i medesimi, ma la distribuzione dell'elettrico sarebbe inversa.

Volendo scaricare la bottiglia, si adopera l'eccitatore composto. Si tiene l'arco pe' suoi manubrj, con una estremità si tocca l'armatura esterna, e coll'altra l'armatura interna. All'istante in cui vengono a comunicare le due armature, le elettricità con-

trarie si ricompongono, producendo una scintilla più o meno viva. Alla prima volta però la scarica non è mai completa.

Bottiglia ad armature mobili. È degno di considerazione che l'elettricità qui non rimane sull'armatura tenuta a contatto della macchina elettrica, ma si porta quasi intieramente sulla superficie del vetro della bottiglia. A dimostrare questa cosa serve la bottiglia ad *armàture mobili*, la quale risulta da un gran recipiente conico di vetro B (fig. 628), da una armatura esterna C, di latta, e da una armatura interna D, della stessa sostanza. Questi pezzi collocati l'uno entro l'altro, come mostra la figura A, costituiscono una bottiglia di Leyda. Or bene, elettrizzando la bottiglia in questa posizione, come si fa per l'ordinaria bottiglia di Leyda, e levando poscia l'armatura interna, mediante un manubrio isolante, si trova che questa non dà segno alcuno di elettricità: ma il fluido è diffuso intieramente sul vetro.

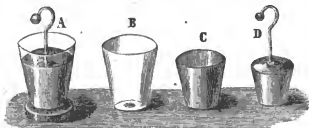



Fig. 628.

690. **Effetti di una bottiglia di Leyda**. Lo strumento descritto può servire a fare le più belle esperienze. Vogliamo qui indicarne alcune delle principali.

Scossa ad una — a più persone. Innanzi tutto è da sapersi che, toccando con una mano l'armatura interna d'una bottiglia di Leyda caricata, mentre si tiene coll'altra l'armatura esterna, si riceve una scossa molto più forte di quella prodotta dalla macchina elettrica; e tale che si fa sentire, non solo nelle giunture del braccio, ma anche fino al petto, e si può trasmettere simultaneamente a moltissime persone. Per ciò, bisogna che le diverse persone formino, come si dice, la catena, che cioè si tengano per mano l'una in seguito all'altra; e quando la prima tocca l'armatura esterna di una bottiglia caricata, l'ultima tocchi la sfera dell'armatura interna: allora ricevono tutte simultaneamente la scossa, la cui intensità decresce dagli estremi al mezzo della catena, se gli individui che la formano non sono isolati.

Effetti meccanici. Più sorprendenti, per la durata o per l'ener-

gia, sono gli effetti meccanici e fisici che può produrre la scarica lenta od istantanea di una bottiglia di Leyda. Un esempio degli effetti meccanici della scarica lenta è l'esperienza dello *scampanio elettrico*, analoga a quella che già vi ho descritta. Figuratevi una palla metallica sospesa, con un filo di seta (fig. 629), in mezzo a due campanelle: l'una non isolata, e l'altra fissa all'asta d'una bottiglia di Leyda carica, la cui armatura esterna sia in comunicazione col suolo. Siccome l'armatura interna della bottiglia ha sempre un po' di elettricità libera, così la palla viene da questa attratta, elettrizzata per contatto, poi ripulsa, e spinta a toccare la campanella dell'asta A: qui si scarica, sicchè può essere nuovamente attratta dalla campanella della bottiglia, e così il giocarello continua per un buon tratto di tempo, producendo un suono ad ogni volta che la palla urta contro una delle due campanelle. Sostituendo alla palla il ragno di Franklin, o qualunque altro corpo leggero, si può dare all'esperienza diverso aspetto. Così si costrusse il *bilanciere* od *altalena elettrico*, e qualche altro curioso strumento di questo genere.

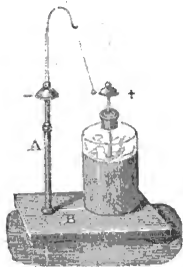



Fig. 629.

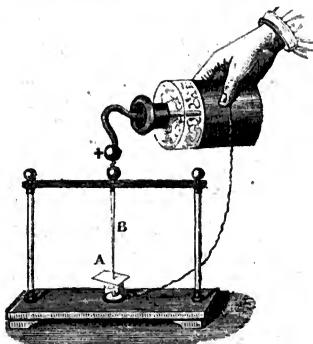



Fig. 630.

La scintilla tratta da una boccia di Leyda ha forza di traforare un grosso foglio di carta, una serie di più fogli, ed anche una lastra di vetro. Per ottenere questo effetto, si usa generalmente un piccolo apparato, detto il *fora-carta* od il *fora-vetro*, il quale consiste in due colonne di vetro che, mediante un'asta orizzontale, sostengono un conduttore B (fig. 630), terminato al basso in punta. Si pone il foglio di carta, o la lastra A di vetro, che si vuol traforare, sopra un tubo isolante, entro il quale

havvi un secondo conduttore, terminato anch' esso in punta. Messo quest' ultimo conduttore in comunicazione coll'armatura esterna di una forte bottiglia di Leyda, si avvicina la sfera della bottiglia alla sfera colla quale termina il conduttore B. La scintilla scocca allora fra i due conduttori, ed il foglio di carta o la lastra di vetro viene traforata.

Accensione dell' etere e dell' alcool. Fra gli effetti fisici della scintilla d'una bottiglia ordinaria di Leyda, si cita l'accensione dell'etere e dell'alcool. Per farne l'esperienza, si piglia un piccolo vaso di vetro (fig. 631), il cui fondo sia attraversato da un'asta di ottone, terminata a sfera, e fissata ad un piede della stessa sostanza: lo si riempie d'etere solforico o di alcool, in modo che la sfera ne sia interamente coperta; e poscia si presenta a quest' ultima l'uncino di una bottiglia di Leyda caricata, mentre l'armatura esterna comunica col piede di ottone, per mezzo di un filo metallico. Questo filo ed il piede del vaso fanno l'ufficio dell'eccitatore: la scintilla scocca traverso al liquido, e lo infiamma. Coll'etere l'esperienza riesce benissimo; perchè riesca coll'alcool, bisogna che questo sia previamente riscaldato.

Fig. 631.

691. **Batteria elettrica**. Gli effetti della scarica elettrica si possono moltiplicare per mezzo delle *batterie elettriche.* La batteria elettrica è una riunione di bottiglie o giare di Leyda, le cui armature interne comunicano fra loro, mentre le esterne sono tutte in comunicazione col suolo. Una batteria produce lo stesso effetto di una sola e grande bottiglia, la cui armatura interna sia eguale in estensione alla somma delle armature interne della batteria, e l'armatura esterna eguagli la somma delle armature esterne. È di somma importanza, per l'azione di una batteria, che le bottiglie o le giare che la compongono sieno tutte di eguale capacità e di eguale energia. Una batteria si carica e si scarica come una semplice bottiglia.

Batteria a cascata. Adoperando una macchina elettrica ordinaria per caricare una batteria un po' estesa, si richiede un buon tratto di tempo; epperò Franklin ebbe la felice idea di disporle in modo che l'armatura interna di ciascuna bottiglia, che non fosse la prima, comunicasse coll' armatura esterna della bottiglia precedente, mentre l' armatura interna della prima comu-

nica col conduttore della macchina elettrica, e l'esterna dell'ultima col suolo. Le bottiglie così disposte formano una *batteria a cascata*, che può essere caricata in breve tempo. Di fatto se, per esempio, l'armatura interna della prima bottiglia si carica di elettricità positiva, essa decompone il fluido neutro dell'armatura esterna che gli corrisponde, e dell'armatura interna della seconda bottiglia; attrae su quella il fluido negativo, e repelle in questa il fluido positivo. Questo alla sua volta agisce sul fluido neutro dell'armatura esterna della seconda e della interna della terza bottiglia, e così via discorrendo tutte le armature interne delle bottiglie si caricano della stessa elettricità della macchina, e le esterne della contraria. Queste bottiglie possono essere scaricate, successivamente ad una ad una, facendo comunicare l'armatura interna coll'armatura esterna, per mezzo dell'eccitatore; oppure simultaneamente, mettendo in comunicazione l'armatura interna della prima colla esterna dell'ultima.

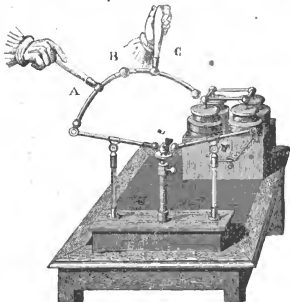



Fig. 632.

Uccisione d'un animale. La potenza di una batteria elettrica è prodigiosa. Quando non è composta che di poche bottiglie basta ad uccidere i piccoli animali, come conigli, colombi e simili; e con una grande batteria si può uccidere anche un bue. Per siffatte esperienze si aggiunge alla batteria l'*eccitatore universale* (fig. 632),

che consiste in un piccolo tavolo di legno, ove sono fissate due colonne di vetro, ciascuna delle quali porta un'asta di ottone. In mezzo a queste colonne è collocata un'asta di legno, che sostiene un piccolo disco, ove si mette l'animale od il corpo da sottoporre alla scarica. Dopo d'aver rivolte le due aste di ottone verso l'animale, si fa comunicare una di esse coll'armatura esterna di una batteria, e si tocca l'altra con una delle sfere dell'eccitatore composto. Avvicinando allora l'altra sfera dell'eccitatore medesimo all'armatura interna, la scintilla si spicca fra questa sfera e l'armatura, ed un'altra ne scocca fra i rami dell'eccitatore universale, e da essa l'animale viene fulminato.

Fusione dei metalli. Il riscaldamento prodotto dalla scarica di una batteria basta molte volte a fondere parecchi metalli. Un filo di ferro, di qualche pollice di lunghezza, posto fra i rami dell'eccitatore, dalla scarica di una piccola batteria è appena scaldato; ma diviene rovente, ed anche si fonde sotto una più forte, gettando lontano degli spruzzi incandescenti o fusi; e sottomesso ad una batteria fortissima, lo stesso metallo vaporizza istantaneamente. Un fascio di fili di stagno, stretti fra loro, lunghi tre o quattro pollici, è volatilizzato da una batteria ordinaria: il vapore si ossida, e produce nell'aria una serie di lunghi filamenti di fumo, nuotanti in mezzo ad altro fumo. Gli altri metalli possono essere parimenti riscaldati, arroventati, fusi od ossidati; ma si osserva che l'ordine dei metalli, secondo l'attitudine loro ad essere scaldati, o dispersi dalle scariche elettriche, è ben diverso da quello della fusibilità pel calore, e si crede che v'abbia una parte principalissima la facoltà conduttrice dei metalli cimentati: quelli che sono men buoni conduttori, come il platino e il ferro, mostrano, sotto la scarica elettrica, effetti più grandi che non l'oro ed il rame, che meglio conducono l'elettricità. I fili di seta dorati presentano un fenomeno singolare, che prova con quale rapidità le molecole di una materia conduttrice siano fuse o trasportate dalla scarica elettrica. Allorchè questi fili vengono sottomessi alla scarica, l'oro da cui sono ricoperti viene volatilizzato ed ossidato, senza che il calore possa rompere la seta. Per rendere più evidente la cosa si appende al filo un piccolo foglio di carta bianca. Dopo la scarica, appare su questo una larga traccia di color bruno, ossia di oro che vi fu deposto.

Dipinti elettrici. Tale particolarità ha suggerito l'idea curiosa di preparare un ritratto, od un dipinto qualunque in oro. In un foglio di carta s'intaglia il disegno da riprodurre, per esempio,

il ritratto del Volta (fig. 633): sopra questo frastaglio si mette una foglia d'oro, che tocchi in pari tempo due foglie di stagno *a*, *b*, incollate alla carta. Poscia si copre l'oro con un piccolo cartone, e dall'altra parte si pone sul frastaglio un nastro di raso; si ripiegano dall'uno e dall'altro lato le due estremità *c*, *d* della carta, e per assicurare il contatto si stringe il tutto fra due lastre di legno (fig. 634). Allora, facendo comunicare le due foglie di stagno *a* e *b* colle due armature di una batteria, la scintilla scocca, l'oro si volatizza, e dalle aperture del frastaglio si depone sul raso, formandovi un'impronta di color bruno regolarissima.

Fig. 633.

Fig. 634.

CAPO TERZO

ELETTRO-DINAMICA.

ARTICOLO PRIMO

ORIGINE DELLE CORRENTI ELETTRICHE.

692. **Corrente elettrica.** Supponiamo che le estremità E e D (fig. 621) dei conduttori della macchina a doppia elettricità di Nairne vengano a trovarsi dirimpetto l'una all'altra, ed a breve distanza. Messo in moto il cilindro della macchina, i due conduttori verranno elettrizzati contrariamente, e ben presto si scaricheranno alle estremità E e D, ove si produrrà una successione di scintille, più o meno rapida, a seconda della grandezza dell'intervallo che separa quelle due estremità, e della rapidità colla quale si fa girare il cilindro. Che se le sfere dei due bracci E e D son poste a contatto, o comunicano fra loro per mezzo di un corpo che conduca bene l'elettricità, supponendo che il cilindro continui a rotare, la macchina non si mostra più elettrizzata alla maniera ordinaria: per esempio, non attrae nè respinge i corpi leggeri, non dà scintille; ma produce tuttavia una quantità di altri fenomeni ancor più straordinarj, e che certamente non produrrebbe se fosse allo stato naturale. Per dirne uno, può decomporre moltissimi corpi composti, con una rapidità sorprendente. Quando un corpo è nella condizione ordinaria

di una macchina elettrica, come abbiam supposto nel capo precedente, si dice che contiene l'elettricità *statica* od *in equilibrio;* ed invece quando si gira il cilindro della macchina, ed i conduttori comunicano fra loro, si dice che l'elettricità *è in moto, circola* nell'apparecchio, ossia che havvi una *corrente elettrica.* Le aste, od i fili di metallo, che congiungono il corpo ove si produce l'elettricità positiva coll'altro sul quale si raccoglie la negativa, sogliono dirsi *reofori* od *elettrodi,* cioè apportatori o canali della corrente.

693. **Pila a colonna di Volta.** Il mezzo descritto per ottenere la corrente elettrica è il più facile a concepire, ma è forse il men buono dei molti che si conoscono. Quello che fu pel primo imaginato da Alessandro Volta nel 1800, è la *pila a colonna,* stupenda invenzione che segnò un'epoca novella nella storia della fisica, ed assicurò alla patria d'Archimede e di Galileo il primato nelle scienze naturali. L'occasione della scoperta fatta dal Volta fu un fenomeno osservato da Galvani, medico bolognese. Questi nel 1786 trovò che i muscoli crurali di una rana appena morta, posti in comunicazione coi nervi lombari per mezzo di un arco metallico (fig. 635), si contraggono con violenza. Galvani, per spiegare questa cosa, suppose che l'elettricità avesse origine nei nervi lombari della rana, per una proprietà particolare dell'organismo dell'animale stesso, e che al momento in cui que' nervi erano posti in comunicazione coi muscoli, mediante l'arco conduttore, l'elettrico scorresse da quelli a questi, producendo una contrazione nell'animale. La spiegazione del fenomeno data dal Galvani piacque a molti. Ma il Volta, che in quel tempo era professore a Pavia, partendo dal fatto, constatato anche dal Galvani, che la contrazione muscolare è molto più energica quando l'arco conduttore è formato da due metalli, concepì l'idea che l'elettricità, causa della contrazione nella rana, fosse prodotta dal contatto dei due metalli fra loro, o nel caso di un metallo solo, dal contatto di questo colla rana stessa. « Il caso, dice il Botta, fece trovare a Galvani un fecondo pensiero, ch'egli stesso fecondò colle sue sollecite investigazioni. Levossene un alto grido nel mondo. L'inventore credette che fosse una legge animale, e che per ciò appartenesse più alla fisiologia che alla fisica. Ma era uscito da Como un sublime ingegno, che lo rivocò alla fisica, dimostrando che gli effetti prodotti sugli ani-

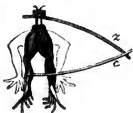



Fig. 635.

mali altro non erano che una parte, una derivazione di una legge fisica generale ». Impegnossi allora tra Galvani e Volta una lotta memorabile nella storia delle scienze. Galvani riuscì alla fin dei conti a produrre le contrazioni, senza fare alcun uso dei metalli, ma ripiegando le gambe della rana in maniera che i muscoli crurali toccassero i nervi lombari. Ma ciò non distolse il Volta dalla sua persuasione, e parve a lui che il semplice contatto dei nervi coi muscoli, corpi peraltro eterogenei, bastasse a dar origine alla elettricità. Così nacque la teoria del contatto, che guidò il Volta all'invenzione della pila. In seguito l'illustre Matteucci provò che la rana possiede di fatto la facoltà di produrre una corrente elettrica; sicchè convien dire che nell'opinione di Galvani c'era pure qualche cosa di vero, sebbene nelle esperienze fatte da lui concorresse anche l'elettricità nata per altre cause. Inoltre i progressi della scienza indussero i fisici ad ammettere che l'elettricità, attribuita dal Volta al contatto dei corpi eterogenei, proviene da un'azione che tien dietro al contatto, ma è distinta da esso. Tuttavia la conquista fatta dal Volta nella sua parte essenziale è verissima; e le più belle invenzioni fatte nel nostro secolo non sono che conseguenze e prove luminose dell'idea ardita a cui si alzò l'ingegno di Volta. Per intendere bene una cosa tanto importante, figuratevi due lamine metalliche, una di zinco e l'altra di rame, separate da un brandello di panno, imbevuto d'acido solforico diluito, o di qualunque altro liquido capace di agire chimicamente sullo zinco. All'istante in cui lo zinco viene a contatto del panno inumidito, l'azione chimica, che in questo caso s'appella *forza elettro-motrice*, incomincia, e produce lo squilibrio elettrico: il rame si elettrizza *in più*, e lo zinco *in meno*. Il sistema di queste due lamine così disposte costituisce la parte elementare della pila di Volta, ossia la *coppia voltaica*, giacchè questo apparato è composto da molte di simili coppie, soprapposte nello stesso ordine (fig. 636). Propriamente la coppia elementare, quale era concepita dal Volta, dovrebbe essere formata semplicemente dalle due lamine metalliche messe a contatto, e le rotelle di panno bagnato non servirebbero nella pila che a separare le diverse coppie, ed a mettere in circolazione il

Fig. 636.

fluido nell'apparato. Imperocchè il Volta ammetteva che qui l'elettricità fosse sviluppata pel *semplice contatto* dei due metalli. Ma ormai i fatti hanno provato che il contatto è la condizione dello sviluppo dell'elettricità (in quanto che esso porge occasione all'*azione chimica*), ma la vera causa è quest' ultima. La coppia voltaica dev'essere pertanto quale l'abbiamo supposta da principio. È però d'avvertire che la teoria del Volta differisce dalla teoria chimica, ammessa attualmente da quasi tutti i dotti, solo nel determinare la natura e la sede della forza elettromotrice: il primo ammette che l'elettricità nasca là dove un disco di rame è a contatto con un disco di zinco, e proprio per effetto immediato del contatto medesimo; e gli altri invece suppongono che l'elettricità abbia origine colà dove un disco di panno è a contatto con un disco di zinco, e per effetto di un'azione chimica; ma attribuiscono alla forza elettromotrice le medesime proprietà scoperte dal Volta. Di queste ci dobbiamo intrattenere per un istante.

1.° La forza elettromotrice determina, nella coppia isolata, una distribuzione di elettricità tale che le tensioni dei due metalli siano eguali e di natura contraria. Queste tensioni si mantengono così fino ad un certo limite, sebbene la rotella di panno sia conduttrice; ma non crescono al di là di questo punto, e quand'anche l'azione chimica continuasse, l'elettricità sviluppate in seguito si neutralizzano, traverso alla rotella umida; sicchè la differenza algebrica delle due lamine è costante, e serve di misura alla forza elettromotrice. 2.° Questa forza è continua, ed opera con abbastanza di rapidità per mantenere le due lamine in stati elettrici che differiscano costantemente per la medesima quantità algebrica. Quando la coppia è isolata, la forza elettromotrice non fa altro che risarcire le perdite di elettricità, alle quali soggiacciono i metalli pel contatto dell'atmosfera; ed allorchè questi son messi in comunicazione, per mezzo di un conduttore qualunque, la forza stessa restituisce loro quanto d'elettricità sfugge e si neutralizza lungo il conduttore, e lo fa proprio colla stessa rapidità dell'efflusso, mantenendo così una corrente continua di elettrico. 3.° La forza elettromotrice è indipendente dallo stato elettrico, nel quale può essere mantenuto uno dei metalli, operando però sempre in modo che la differenza algebrica delle tensioni elettriche nei due metalli sia costante. Per conseguenza, se uno dei metalli avesse a comunicare col suolo, in modo da tenersi costantemente allo stato neutro, la tensione elettrica sull'altro verrebbe a raddoppiarsi. Supponiamo, per esempio, che $-\frac{1}{2}$ rappresenti la tensione negativa dello zinco, e $+\frac{1}{2}$ la tensione positiva del rame, mentre la coppia

è isolata: 1 sarà la differenza algebrica degli stati elettrici delle due lamine, e misura della forza elettromotrice. Quando una delle due lamine comunica col suolo, la tensione elettrica in essa diventa nulla, e sull'altra diviene + 1, oppure — 1.

Per poco che esaminiate il lavoro della macchina di Nairne, vedrete che le cose avvengono qui nella stessa maniera, sicchè questo apparato si può considerare come una vera *coppia elettrica*. Quando sia messo in movimento il cilindro della macchina, i due conduttori isolati acquistano tensioni eguali e di segni contrarj. Ma queste tensioni non possono crescere indefinitamente: appena che la quantità di elettrico perduto (pel contatto dell'atmosfera e per la conducibilità dei sostegni e del cilindro stesso) eguaglia la quantità di elettrico sviluppato, le tensioni dei due conduttori arrivano al limite massimo. Da questo punto in poi lo sfregamento, ossia la forza elettromotrice, non serve che a mantenere quali sono le tensioni stesse, di maniera che, finchè le circostanze della macchina non variano, la differenza algebrica delle due tensioni rimane costante. Questa differenza è naturalmente la misura della forza che ha turbato lo stato normale delle superficie sfregate, e mantiene il nuovo stato di equilibrio elettrico sui due conduttori. Se questi comunicano fra loro, le due elettricità si neutralizzano, ma lo sfregamento le rinnovella, e si determina così, come abbiam detto, una vera corrente elettrica. Quando poi uno dei conduttori comunica col suolo, la carica dell'altro può essere maggiore di quella che si ottiene allorchè sono ambedue isolati. Tutto ciò può essere applicato alla macchina a disco di vetro ed alla macchina idro-elettrica.

Ora vediamo come soprapponendo più coppie aumenti la tensione dei due stati elettrici, ossia come si distribuiscano le tensioni elettriche sui diversi elementi di una pila. Supponiamo di mettere in comunicazione col suolo lo zinco di una coppia voltaica, la cui forza elettromotrice sia 1. Allora la lamina di zinco si mantiene allo stato naturale, e quella di rame acquista la tensione + 1. Ciò posto, sopra la lamina di rame mettiamo una seconda lamina eguale di zinco. È naturale che questa, essendo conduttrice, si metterà in equilibrio col fluido del rame, sicchè qui la tensione diminuisce; ma ben tosto la forza elettromotrice ne risarcisce la perdita, e sviluppa tanto di elettrico quanto basta perchè la lamina di rame e la seconda di zinco abbiano la tensione + 1. Ma non lasciamo le cose incomplete: sulla lamina di zinco distendiamo una rotella di panno inumidita, e mettiamovi sopra la corrispondente lamina di rame; avremo con ciò

compita la seconda coppia. Quali saranno le condizioni d'equilibrio delle tensioni elettriche? Onde la differenza algebrica fra le tensioni dei metalli della prima coppia sia costante, è necessario che il rame di essa si mantenga a + 1: lo zinco della seconda, che ne è a contatto, deve parimenti acquistare + 1. Ma perchè questo abbia tale tensione conviene che il rame della seconda coppia abbia + 2. Dunque la forza elettromotrice nella seconda coppia deve sviluppare tanto elettrico quanto basti a dare la tensione + 2 al proprio rame; e la forza elettromotrice nella prima tanto ne deve produrre quanto occorre a neutralizzare il — 2 che riceve lo zinco della seconda, ed a stabilire + 1 su questo zinco e sul primo rame. Se sopra le due prime coppie ne mettiamo una terza, sempre in modo che lo zinco sia rivolto al basso, è manifesto che questo metallo deve alla fin dei conti essere all'equilibrio col rame della seconda, ossia ridursi a + 2; e per conseguenza il rame della terza coppia medesima non sarà all'equilibrio che quando avrà + 3. Così continuando ad accrescere il numero delle coppie elementari, soprapposte nello stesso ordine, quando lo zinco della prima comunichi col suolo, si ottiene naturalmente una pila, nella quale le tensioni sono tutte positive, e vanno gradatamente crescendo di una unità (cioè della unità di misura della forza elettromotrice nella coppia elementare) col numero delle coppie medesime. È inutile poi avvertire che se la pila comunicasse col suolo pel rame o non pello zinco, le tensioni sarebbero tutte negative, ma crescerebbero ancora colla medesima legge.

Facciamo adesso l'ultimo supposto che la pila sia isolata, ed avremo quanto basti per capire la celebre scoperta del Volta. Per non produrre confusione, cominciamo dal poco: supponiamo d'aver soprapposte due coppie, isolate dalla lamina di vetro MN (fig. 637), e ricordiamoci che il principio che serve a spiegare l'incremento prodigioso di tensione nelle coppie soprapposte è sempre lo stesso, cioè: *l'equilibrio elettrico esige che i metalli a contatto abbiano tensione eguale, ed i metalli d'una medesima coppia differiscano per una quantità algebrica costante.* Ciascuna delle due coppie, quando è sola, ha — $^1/_2$ sullo zinco, e + $^1/_2$ sul rame: all'istante in cui si soprappongono, le tensioni contrarie del rame e dello zinco a contatto si neutralizzano; ma le forze elettromotrici riproducono tosto una eguale quantità d'elettrico: il + $^1/_2$

Fig. 637.

del rame ed il — $^1/_2$ dello zinco a contatto si neutralizzano di nuovo, ed i metalli estremi raddoppiano le loro tensioni. Che se a questa pila di due coppie ne mettiamo sopra un'altra eguale (fig. 638), è chiaro che i metalli di mezzo, lo zinco ed il rame delle coppie B e C, venendo a contatto, si neutralizzano nelle loro tensioni elettriche contrarie: le forze elettromotrici riproducono tosto l'elettricità necessaria perchè lo zinco di B abbia — 1, ed il rame di C + 1; e parimenti il rame di A acquisti — 1, e lo zinco di D + 1, ad onta delle elettricità contrarie che possono ricevere dalle forze elettromotrici delle coppie a cui appartengono, e nell'atto stesso le forze elettromotrici di A e D non cessano d'agire, finchè lo zinco di A si riduca a — 2, ed il rame di D a + 2. Dal piccolo al grande il fenomeno nella sua parte essenziale è sempre lo stesso: sicchè aumentando come si vuole il numero delle coppie che formano la pila isolata, la sezione media sarà sempre a zero, lo stato elettrico sarà *positivo* in tutta la metà dell'apparato che corrisponde alla estremità terminata da una lamina di *rame,* e *negativo* nell'altra parte che termina con una lamina di *zinco.* Due sezioni che sieno ad eguale distanza dal mezzo hanno tensioni eguali e di segni contrarj, il valore assoluto delle quali aumenta a seconda che s'avvicinano alle estremità, o, come s'appellano, *ai poli della pila.* Ordinariamente si ammette per convenzione che, quando i due poli vengono a comunicare fra loro, la corrente si dirige dal polo negativo al positivo nell'interno della pila, e dal polo positivo al negativo nei reofori, o nel conduttore esterno.

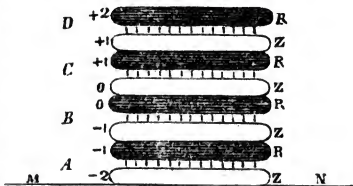



Fig. 638.

La *quantità* di elettrico che si accumula ai poli di una pila, a parità di altre circostanze, è proporzionale all'estensione delle coppie. Invece la *tensione* dell'elettricità ai poli è indipendente dalla grandezza delle coppie, e costante la loro natura, dipende solo dal loro numero. Finchè l'elettricità nella pila è in equilibrio, la differenza algebrica delle tensioni polari è proporzionale al numero delle coppie, serve a misurare la forza elettromotrice, ed eguaglia il numero delle coppie stesse moltiplicato per l'intensità della forza elettromotrice di una coppia.

694. **Pila a corona di tazze.** La pila a colonna, quale venne descritta, ha in pratica un grande inconveniente, ed è che le rotelle umide, compresse più o meno dal peso delle coppie, si disseccano prontamente, ed il liquido che scola giù per la colonna mette parzialmente in comunicazione le diverse coppie, sicchè l'energia dello strumento viene a diminuire. Per rimediare a ciò, Volta stesso imaginò la pila a *corona di tazze*. Dessa consiste in una serie di tazze di vetro o di terra verniciata, in ciascuna (fig. 639) delle quali si versa acqua acidulata, o qualche soluzione salina, e poscia vi s'immergono due piccole lastre, una di rame *p* e l'altra di zinco *z*, in modo che i due metalli d'una medesima tazza non si tocchino, ma il rame di una tazza comunichi collo zinco della tazza seguente o precedente. Le elettricità contrarie si accumulano sulle due lastre libere alle estremità della serie, le quali formano i due poli della pila.

Fig. 639.

Pila a truogoli. Scoperto una volta il principio della pila, ne furono ideate e costrutte parecchie altre, sempre modificando il concetto di Volta, come l'esperienza mostrava più conveniente per ottenere o tensione maggiore, o maggior quantità di elettrico, o per avere una sorgente elettrica di più lunga durata, o più comoda ad usarsi. Mi pare opportuno di farvene conoscere alcune; e la prima che vi descrivo è *la pila a truogoli,* ideata da Cruykshanks. Questa può dirsi una pila a colonna orizzontale, giacchè risulta da una cassa rettangolare di legno (fig. 640),

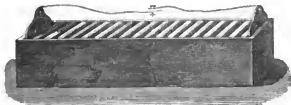



Fig. 640.

rivestita internamente di una vernice isolante, e divisa, secondo la lunghezza, in molti scompartimenti o truogoli eguali, per mezzo di tante lamine, ciascuna delle quali è formata da una lastra di zinco saldata assieme con un'altra di rame. In questi truogoli si versa una mescolanza d'acido solforico ed acqua, la quale produce

lo stesso effetto delle rotelle di panno umide nella pila a colonna; di maniera che le tensioni massime, od i poli della pila, corrispondono alle due lamine semplici poste agli estremi dell'apparato.

Pila a tazze. Un'altra modificazione della pila di Volta è la *pila a tazze*, o di Wollaston. Ogni coppia di questa pila è formata da una lastra di zinco, intorno alla quale è ripiegata una doppia lamina di rame: ambedue sono immerse in una tazza piena d'acqua acidulata, e la prima appoggia sulla parte curva della seconda, per mezzo di due piccoli cubi isolanti, sicchè non è con essa a contatto diretto. Quando si vogliono riunire diverse simili coppie, se ne fissa un certo numero ad una traversa orizzontale (fig. 641), sostenuta alla sua volta da due piccole aste verticali. Le lamine metalliche sono disposte in modo che ogni coppia intermedia comunica pel suo elemento rame collo zinco della coppia precedente, e pel suo elemento zinco col rame della seguente, mentre la lamina zinco *c*, libera ad una estremità, rappresenta il polo negativo, e la lamina rame *m*, libera all'altro estremo, rappresenta il polo positivo.

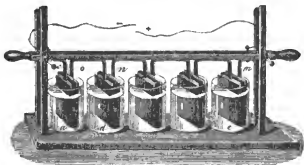



Fig. 641.

Pila ad elice. La pila ad elice assomiglia alla pila di Wollaston, ed è parimenti destinata a produrre grandi quantità di elettrico, a debole tensione. Sopra un cilindro di legno, del diametro di tre pollici e della lunghezza d'un piede, si rotolano due lamine, l'una di zinco e l'altra di rame, separate per mezzo di alcuni pezzetti di panno. Il cilindro così formato è posto in un vaso di legno, coperto all'interno da una vernice isolante, e riempito d'acido solforico diluito. In questo modo gli elementi della coppia possono avere 50 o 60 piedi quadrati di superficie, senza occupare gran posto. Riunendo solo una ventina di queste coppie

eguali, si ha una batteria d'una potenza straordinaria, quanto a produrre quegli effetti che esigono una buona quantità di elettrico a piccola tensione.

Pila di Müncke. Anche la pila di Müncke non differisce molto dalla pila di Wollaston. In essa le lamine di zinco e di rame sono piegate in forma di U, saldate assieme secondo una linea verticale, e poste in un medesimo truogolo di legno, coperto internamente di vernice isolante (fig. 642). Questo apparato, sotto piccolo volume, come quello ad elice, produce effetti energici, ma poco costanti.

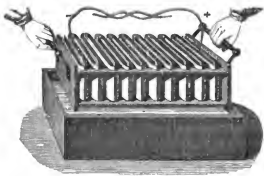



Fig. 642.

Pile a secco. Al principio di questo secolo, molti fisici, ammettendo col Volta, che il semplice contatto dei metalli eterogenei bastava a produrre l'elettricità, tentarono di sostituire al liquido attivo della pila (che secondo essi non faceva che l'officio di conduttore) un corpo solido, che producesse il medesimo effetto, senza guastare rapidamente gli altri elementi dell'apparato. Siffatte pile, che si variarono in mille modi, s'appellarono *a secco.* Fra esse quella più comunemente in uso è la pila a secco del Zamboni. Per costruirla, si prendono alcuni fogli di carta ordinaria, un po' forte e umida quanto lo può essere naturalmente in tempo piovoso; indi da una parte s'incolla, per mezzo della gomma o dell'amido, una foglia di zinco o di stagno battuto; ed all'altra si applica, per mezzo di un corpo ontuoso, uno strato di perossido di manganese ben polverizzato. Poscia se ne tagliano tante rotelle di dieci o quindici linee di diametro, e si soprappongono le une alle altre nello stesso ordine, fino ad averne una pila di 500, 1000 o 2000, e si stringe il tutto fra due dischi di metallo abbastanza resistenti, mentre è tenuto in sesto da alcuni fili di seta, che vanno dall'uno all'altro disco. Per ultimo, onde difendere la pila dall'umidità dell'aria, se ne copre la superficie convessa con una vernice di ceralacca o di solfo fuso.

Dalle osservazioni di Delezenne risulta che in questi apparati la lamina di zinco o di stagno è attaccata dall'ossigeno, che gli

viene ceduto dal perossido di manganese. La forza elettromotrice è dunque un'azione chimica anche in questa pila; e la coppia elementare di essa è rappresentata dalla lamina di zinco o di stagno, che fa l'officio di *elemento positivo,* e dallo strato di perossido di manganese, che si comporta come *elemento negativo*. La carta non serve che ad impedire la rapida circolazione dell'elettrico nella pila. Può recar meraviglia che una pila a secco, composta, per esempio, di 2000 coppie, offra ai poli una tensione maggiore di quella delle altre pile ordinarie; sicchè attrae i corpi leggeri, produce la scintilla quando gli si avvicina un buon conduttore, e basta a caricare una bottiglia di Leyda; mentre dall'altra parte la corrente che nasce da una siffatta pila è debolissima, ed incapace di dar origine agli effetti che manifestano le correnti delle altre pile. Ma l'incremento della tensione dipende evidentemente dal gran numero delle coppie che la compongono, e la debolezza della corrente è conseguenza necessaria della difficoltà che l'elettrico incontra nell'attraversare l'apparato, sicchè le perdite che vengono a soffrire le tensioni polari al chiudersi del circuito, non possono essere risarcite che molto lentamente.

Le tensioni contrarie dei poli di una pila a secco variano naturalmente collo stato igrometrico dell'ambiente, giacchè si stabiliscono ad un massimo più o meno elevato, a seconda che diminuisce od aumenta la quantità di elettrico che perdono pel contatto dell'atmosfera. Le pile secche, preparate con diligenza, possono conservare le loro proprietà per parecchi mesi, ed anche per molti anni.

Elettroscopio di Bohnenberg. Bohnenberg ebbe la felice idea di applicare la pila descritta all'elettroscopio a foglie d'oro, onde conoscere immediatamente la natura dell'elettricità del corpo presentato allo strumento. Egli non lascia all'elettroscopio che una foglietta sola, e ad eguali distanze da essa pone due pile secche a poli opposti. Queste due pile comunicano alle loro estremità inferiori, per mezzo di una lamina metallica. È manifesto che la foglia d'oro, finchè si trova allo stato neutro, si mantiene in equilibrio fra le attrazioni eguali e contrarie dei due poli, ma appena che viene caricata con una qualunque delle due elettricità, essa volgesi verso il polo di tensione contraria: se arriva a toccarlo, sarà in seguito respinta, e attratta dal polo opposto, e così potrà continuare per molto tempo a moversi alternativamente; ma in ogni caso la direzione del primo movimento avrà rivelata la natura della elettricità comunicata alla foglia.

695. **Rapido decremento della forza di una pila voltaica.** Le pile descritte, e moltissime altre che ad esse si

riducono, hanno comune l'inconveniente di scemare presto di forza, per modo che non valgono a produrre una corrente che si mantenga costante per un buon tratto di tempo. La causa principale di ciò non è l'alterazione chimica dell'acqua acidulata, o del liquido che ne fa le veci; giacchè avviene eziandio nel caso in cui il liquido vi si trovi in grande quantità, ed inoltre facendo passare traverso ad una pila indebolita una corrente contraria, le si ridona la primitiva energia. Faraday e Becquerel constatarono che il fenomeno è l'effetto dei depositi che si formano sui metalli della coppia. L'azione chimica da cui nasce la corrente è la decomposizione dell'acqua, e l'ossidazione dello zinco: l'acqua acidulata si decompone, l'idrogeno si svolge sul rame, e l'ossigeno sullo zinco, e vi si combina formando l'ossido di zinco. Ma qui non finisce tutto: quest'ossido si combina all'acido solforico, e forma il solfato di zinco, che sciolto nel liquido è ben presto decomposto nuovamente in acido solforico ed ossido di zinco, il primo dei quali si raccoglie sulla lastra di zinco, ed il secondo su quella di rame. Finalmente, quest'ossido di zinco viene ridotto dall'idrogeno, col quale ivi s'incontra, e per conseguenza sulla lastra di rame vien deponendosi continuamente zinco metallico, e così, diminuendo l'eterogeneità dei due metalli, diminuisce l'energia dell'azione chimica e lo sviluppo dell'elettricità. Oltre a ciò, non tutto l'idrogeno sviluppato sulla lastra di rame va consumato nella riduzione dell'ossido di zinco, sicchè una parte resta aderente alla stessa lamina, e non solo impedisce in alcuni punti il contatto del liquido col rame, ma forma collo zinco una nuova coppia, contraria all'altra del rame e dello zinco, giacchè quest'ultimo metallo coll'idrogeno si elettrizza in modo contrario a quello che tiene quando è messo in presenza del rame. Chi non vede pertanto come l'effetto di una coppia debba ben presto diminuire, essendo così contrastato da due fenomeni contrarj, prodotti dalla medesima azione chimica, che dà origine all'elettricità, ossia dalla forza elettromotrice? I dotti hanno pertanto pensato il modo di fabbricare una pila a corrente costante, cioè una pila nella quale l'azione chimica elettromotrice non producesse i due inconvenienti accennati.

696. **Pile a corrente costante.** Una di queste pile è quella imaginata da Daniell nel 1836. La coppia elementare di essa consiste: 1.° in un vaso di vetro V (fig. 643), pieno d'una soluzione di solfato di rame; 2.° in un cilindro di rame C, aperto alle due estremità, traforato lateralmente, ed immerso nel liquido del primo vaso; 3.° in un vaso poroso P di terra cotta, detto

il *diaframma*, collocato nel tubo di rame C, e riempito d'acqua acidulata con acido solforico; e 4.° in un cilindro di zinco Z, amalgamato, ed aperto ai due estremi. Alla parte superiore del tubo di rame C è fissato un cestello annulare G, che si abbassa tanto da immergersi nella dissoluzione di solfato di rame, e contiene alcuni cristalli di questo sale, i quali servono a conservare il liquido ad un grado di concentrazione costante. Ad ognuno poi dei cilindri di zinco e di rame è unita una lamina di rame, che nel primo rappresenta il polo negativo della coppia, e nel secondo il polo positivo.

Fig. 643.

Così disposte le cose, non havvi però alcuna azione chimica finchè i due poli non comunicano fra loro. Appena ciò avviene, l'acqua è decomposta per la doppia influenza della affinità dello zinco per l'ossigeno, e dell'acido solforico per l'ossido di zinco. L'ossigeno, messo in libertà nello scompartimento interiore, attacca lo zinco, l'ossido così formato si combina all'acido solforico, ed il cilindro di zinco si elettrizza *in meno*. L'idrogeno in quella vece traversa il diaframma poroso, ed arrivato nello scompartimento esteriore decompone il solfato di rame, riduce l'ossido di rame che ne risulta, unendosi all'ossigeno, e lasciando libero il rame, che si depone sul cilindro C, e gli comunica la tensione *positiva*. In queste azioni chimiche, ad ogni equivalente d'acqua decomposto corrisponde *un* equivalente d'ossigeno fatto libero, *un* equivalente di zinco ossidato ed *un* equivalente di solfato di zinco prodotto nella capacità interiore. Nel medesimo tempo nella cellula esteriore entra *un* equivalente d'idrogeno, è decomposto *un* equivalente di solfato di rame, riprodotto *un* equivalente d'acqua, e precipitato *un* equivalente di rame allo stato metallico sul tubo C. Insomma, l'acqua decomposta in una cellula è riprodotta nell'altra ed in quantità eguale, e tutta l'azion chimica si riduce alla formazione d'un equivalente di solfato di zinco nella cellula interiore ed alla decomposizione d'un equivalente di solfato di rame nella cellula esteriore; od, in altri termini, tutto si riduce alla sostituzione di un equivalente di zinco ad un equivalente di rame nella dissoluzione salina. La corrente nella coppia di Daniell è il risultato di questa sostituzione.

Ma, se nella cellula interiore la formazione del solfato di zinco dà origine ad una forza elettromotrice diretta dal cilindro di

zinco alla lamina di rame, nella cellula esteriore la riduzione del solfato di rame produce un'altra forza elettromotrice diretta in senso opposto; giacchè abbiamo quattro azioni, le prime due nella cellula interiore, e le ultime due nella esteriore, e sono: 1.ª riduzione dell'acqua acidula (o solfato monoidrico); 2.ª formazione del solfato di zinco; 3.ª riduzione del solfato di rame; 4.ª formazione del solfato monoidrico (o combinazione dell'acido solforico coll'acqua). La 1.ª e la 4.ª, essendo eguali e contrarie, si elidono; rimangono la 2.ª e la 3.ª, che essendo contrarie e diverse, si riducono. Per conseguenza nella coppia di Daniell, come in quella di Volta, la forza elettromotrice è una *risultante*, ossia è la *differenza* delle due forze elettromotrici ineguali ed opposte, nate sotto l'influenza delle reazioni chimiche, che si compiono fra i liquidi e gli elementi metallici. Nella cellula interiore l'ossido di zinco è disciolto dall'acido solforico a misura che si forma, sicchè la superficie dello zinco resta sempre pulita ed esposta all'azione dell'acido che la bagna; e dall'altra parte il rame della cellula esteriore non può coprirsi che di rame, ceduto dalla soluzione salina, per conseguenza l'azione chimica, ossia la forza elettromotrice, ed anche la corrente riesce costante.

Pila di Grove. Un'altra pila di buonissimo effetto venne ideata da Grove. La coppia elementare di questa pila è la seguente. La capacità del vaso A (fig. 644) è divisa in due parti da un vaso cilindrico di terra porosa V: nella parte annulare esteriore si versa acido solforico diluito, e s'immerge un tubo Z di zinco amalgamato, spaccato secondo la lunghezza; ed il vaso V contiene acido nitrico ed una lamina di platino P. Il processo delle operazioni chimiche, che danno origine all'elettricità, è facile a capirsi. L'acqua è decomposta, l'ossigeno di essa attacca lo zinco, e l'ossido che si forma si unisce all'acido solforico; invece

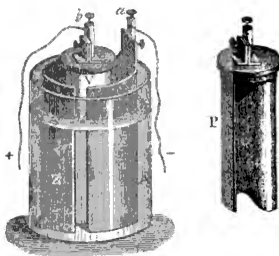



Fig. 644

l'idrogeno passa nel vaso interiore, e sottrae all'acido azotico una porzione di ossigeno. L'elettricità cammina dallo zinco al platino, traverso al liquido ed al diaframma poroso: il platino rappresenta il polo *positivo*, e lo zinco il polo *negativo* della coppia.

Pila di Bunsen. La coppia di Bunsen non differisce da quella di Grove, che nell'avere il cilindro interno di carbone e non di platino (fig. 645). L'estremità di questo cilindro è coperta di

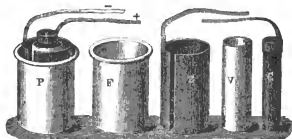



Fig. 645.

rame rivestito da una vernice, onde sia preservato dall'azione corrosiva degli acidi. Del resto i liquidi ed il processo chimico sono gli stessi che nella coppia di Grove. La figura 646 vi rappresenta una pila di Bunsen di dieci coppie.

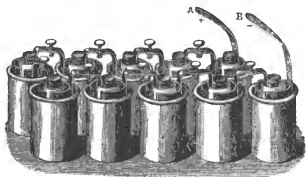



Fig. 646.

Associazione delle coppie. Finora abbiamo supposto di formare la pila unendo le coppie successive coi poli di nome contrario (fig. 647); ma le cose si possono disporre anche in

Fig. 647.

maniera che i poli dello stesso nome comunichino tutti fra

loro (fig. 648). La prima associazione si appella in *serie, in pila,* oppure *a tensione;* e la seconda si chiama associazione *in batteria, in superficie,* ovvero *in quantità,* giacchè l'effetto di questa pila equivale a quello di una coppia unica, estesa quanto la somma delle superficie delle coppie che la compongono. Finalmente, l'associazione dicesi *composta* quando offre ambedue le precedenti disposizioni (fig. 649 e 650).

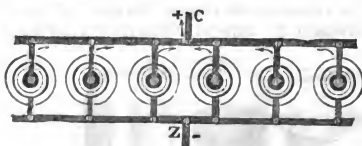



Fig. 648.

Fig. 649. Fig. 650.

Pile che sviluppano elettricità appena quando il circuito è chiuso. Abbiamo già accennato che alcune pile non sviluppano elettricità, finchè non sia chiuso il circuito; ora dobbiamo cercare la spiegazione di questo fenomeno. Imaginiamo una lamina ZZ (fig. 651) di zinco, immersa nell'acqua pura. L'affinità dell'ossigeno per lo zinco, essendo minore di quella dell'ossigeno stesso per l'idrogeno, non basta per sè a decomporre l'acqua; tuttavia rompe l'equilibrio elettrico delle molecole dell'acqua e dello zinco. Questo metallo elettro-positivo repelle l'idrogeno, che è parimenti elettro-positivo, e attrae l'ossigeno che è elettro-negativo. Le molecole dell'acqua si trovano per ciò *polarizzate,* in modo che l'ossigeno in ognuna di esse si porta dalla parte della lamina di zinco, e l'idrogeno dalla parte opposta, come si vede nella serie *no.* Alla stessa maniera le molecole dello zinco vengono polarizzate in modo che l'elettricità positiva si trova dalla parte della superficie in contatto coll'acqua e l'elettricità negativa dalla parte opposta. Introducendo nello stesso liquido una lamina PP inattiva, per esempio, di platino, le molecole di essa verranno polarizzate da quelle dell'acqua, ma non ne se-

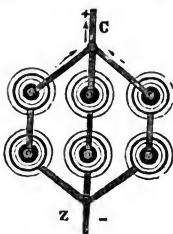
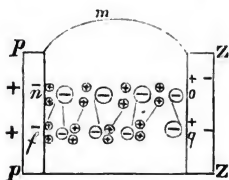



Fig. 651.

guirà effetto alcuno, finchè le due lamine si manterranno isolate. Quando però esse siano congiunte da un filo metallico *m*, o vengano a comunicare ambedue col suolo, l'elettricità negativa dello zinco sfuggirà per questo filo, ed allora l'elettricità positiva di esso, divenuta libera, agirà più energicamente sulle elettricità degli elementi delle molecole d'acqua, e li separerà: l'ossigeno verrà a combinarsi con una molecola di zinco, neutralizzandone il fluido positivo, ed i due atomi d'idrogeno si uniranno all'atomo d'ossigeno della molecola d'acqua seguente: l'idrogeno di questa, ripulso, si unirà all'ossigeno della terza molecola, e così di seguito, come si vede nella serie *fq;* ed in fine due molecole d'idrogeno saranno messe in libertà sulla superficie della lamina inattiva, di cui neutralizzeranno l'elettricità negativa, mentre l'elettricità positiva passerà nel conduttore *m*. Ecco dunque che l'azione chimica non incomincierà che al momento in cui si riuniscono le due lamine di zinco e di platino.

Tre nuove pile. Il professore Minotto imaginò, da poco tempo, una pila che poco differisce da quella di Daniell, ma è meno dispendiosa ed ha una costanza singolare. La cosa è semplicissima. Figuratevi un vaso cilindrico di vetro, od altra materia isolante, nel fondo del quale sia deposta una lastra di rame: su questa lamina gettate una buona porzione di solfato di rame pesto, e poscia uno strato di sabbia pura, lavata prima coll'acido idroclorico. Per avere compita la pila, basterà mettere una lamina di zinco al dissopra della sabbia, e versare acqua nella rimanente capacità del vaso. I fenomeni chimici si succedono qui come nella pila di Daniell. Il polo positivo è rappresentato da un'asticciuola metallica, saldata al rame, e coperta di una vernice isolante che attraversa il solfato, la sabbia e l'acqua, ed emerge all'esterno; mentre il polo negativo corrisponde ad un'altra asticciuola parimenti metallica, congiunta alla lastra di zinco. La resistenza interna di questa pila è in generale maggiore di quella di Daniell; ed il curioso è che dessa può agire continuamente per parecchi mesi, senza che neppure abbisogni di toccarla.

Ma anche l'invenzione del Minotto non è perfetta. Il signor Jacobini trovò presto la maniera di cambiarla in meglio. Eccovi come siano da lui disposte le cose. Si mette solfato di rame al fondo del vaso, e poscia vi s'introduce un tubo verticale di rame, i cui lembi sono ripiegati e traforati. Coperto il solfato con un pezzo di carta, gli si pone sopra uno strato di sabbia, alto uno o due centimetri, e lo zinco annulare ordinario. Dopo ciò, con altro solfato di rame, si riempie quasi completamente il cilindro di rame, e con nuova sabbia l'intervallo tra zinco e rame, ed il

resto della capacità del vaso. Quando sia anaffiato il tutto con acqua pura, la pila sarà pronta.

Il P. Secchi, studiando l'importanza delle due pile del Minotto e del Jacobini, osserva che la costanza di queste pile, alcune delle quali durano anche per un anno, non dipende *dalla forza dell'arena operante come diaframma*, perchè la sabbia è certamente meno opportuna per questo officio; ma bensì da ciò che la sabbia impedisce il moto intestino del liquido, e per conseguenza diminuisce le azioni locali. Questa idea ne suggerì naturalmente un'altra all'illustre gesuita, cioè che per avere una pila costante bastasse disporre le cose in modo che gli interni movimenti del liquido riescissero impediti. Perciò, all'acqua semplice, in cui pesca lo zinco, nell'ordinaria pila di Daniell, sostituisce la sabbia, inumidita d'acqua, e riempie il diaframma poroso con solfato di rame, come si fa d'ordinario. Il P. Secchi avverte che la sua pila non acquista la forza massima che dopo tre o quattro giorni almeno; ma si mantiene peraltro costante per un tempo lunghissimo, senza che i materiali mostrino una sensibile alterazione.

Animato dalla buona riuscita di queste esperienze, lo stesso dotto ne tentò altre. Ecco quanto scrive egli stesso. « Ho fatta la prova collo solfo pesto finamente, ed è riuscita molto meglio che colla sabbia. Assai minore è stato il logoro dello zinco, e la forza costante anche più che colla sabbia. Solo collo solfo si esige l'avvertenza d'impastarlo coll'acqua, prima di metterlo dentro il vaso, perchè questa sostanza ha poca capillarità e schiva di bagnarsi, ma inzuppata che sia una volta serve a meraviglia. Lo solfo può servire ove non è facile trovare sabbie prive di materia calcarea ».

Il signor Matteucci descrisse un'altra pila a solfo, imaginata dal signor Blan. Dessa consiste in un vaso pieno d'acqua salata, ove s'immergono, senza i recipienti di porcellana, il solito cilindro di zinco ed una lastra di piombo pulita, e poscia vi si aggiunge una certa quantità di solfo (15 o 20 grammi), avendo cura di agitarla e di farne una poltiglia. La facoltà elettromotrice viene accresciuta, se il piombo è leggermente coperto di rame, come lo si può ottenere lasciandolo per alcuni istanti immerso in una soluzione di solfato di rame, unita al polo negativo di una pila. Dopo due o tre ore, la corrente di questa pila differisce poco da quella della pila di Daniell, e si mantiene costante per un tempo molto maggiore.

697. **Correnti termo-elettriche**. Fin qui ci siamo occupati delle correnti elettriche sviluppate dalle azioni meccaniche,

o chimiche; ma, come abbiam già accennato, anche il calorico può dare origine ad una corrente elettrica. Il fatto, annunciato dal Volta, era confermato nel 1821 da Seebeck di Berlino. Egli si servì per questo di un piccolo apparato composto di una lamina *mn* (fig. 652) di rame, le cui estremità sono ripiegate e saldate ad una lamina *op* di bismuto. Nell'interno del circuito così formato trovasi una piccola calamita *a*, mobile sopra un perno. Volendo ripetere l'esperienza, è da sapersi che, come vedremo più innanzi, una corrente elettrica, passando vicino ad una calamita mobile, la fa deviare dalla posizione normale in cui si tiene. Or bene, se riscaldasi una delle due saldature, per esempio *o*, si scorge che dopo qualche tempo la calamita *a* è deviata: il che indica l'origine di una corrente. Se poi invece di scaldare la saldatura *o*, la si raffredda, il fenomeno ripetesi; ma allora la corrente cangia direzione.

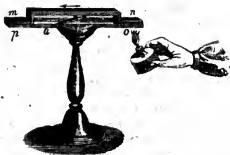



Fig. 652.

Tutti i metalli, scaldati a differenti gradi di temperatura, possono sviluppare simili correnti elettriche; ma la direzione di queste correnti dipende dal metallo a cui vengono associati. Così nel circuito formato d'antimonio e di rame, la corrente cammina in direzione contraria a quella che mostra nel circuito di bismuto e di rame. Dalle esperienze di Becquerel appare che i metalli, sotto tale rispetto, debbono porsi nell'ordine seguente: bismuto, niccolo, platino, palladio, cobalto, manganese, argento, stagno, piombo, rodio, ottone, rame, oro, zinco, ferro, arsenico ed antimonio. Quando si uniscono due metalli di questa serie, e se ne riscalda la saldatura, questa viene attraversata da una corrente, diretta dal metallo che occupa il posto più elevato a quello che si trova più basso; ossia ogni metallo di questa serie è positivo rispetto a quelli che lo seguono, e negativo quanto agli altri, che lo precedono. Al mutarsi dei metalli associati, può cambiare non solo la direzione della corrente, ma anche l'energia. Facendo l'esperienza di Seebeck, con diverse coppie di metalli, si trova che, quando pure si conservino sempre le stesse forme e le stesse dimensioni, e la differenza di temperatura fra le due saldature sia costante, la deviazione dell'ago ora è maggiore ed

ora minore. Si ottiene la corrente più gagliarda, quando il circuito è formato dai due metalli estremi della serie sopra accennata, cioè dal bismuto e dall'antimonio. Da tutto questo si conchiude che i diversi metalli hanno diverse *facoltà termoelettriche.*

Non bisogna credere però che all'origine della corrente elettrica sia condizione essenziale l'essere il circuito composto di due metalli eterogenei. Talvolta si dà il caso in cui si sviluppa una corrente elettrica anche in un conduttore formato da un metallo solo. Perchè questo effetto avvenga, basta che il corpo non sia dappertutto omogeneo, abbia cioè una diversa struttura nelle sue parti, sia torto od ossidato in qualche punto.

Pile termoelettriche. Conosciuto una volta il principio che una semplice differenza di temperatura fra le parti di due metalli uniti, assieme, od anche di uno stesso metallo non omogeneo, basta a dar origine ad una corrente, l'idea di fabbricare una pila termoelettrica doveva nascere naturalmente. E di fatto se ne fecero i tentativi, e l'effetto corrispose alla speranza. Finora sono ignote le vere cause delle sorgenti termoelettriche: sta però il fatto che una ineguaglianza di temperatura, o meglio una ineguale propagazione del calorico nelle diverse parti d'un circuito metallico, è bastante a far nascere una corrente elettrica. Ciò posto, imaginatevi quattro cilindri di bismuto e quattro asticciuole di rame, tutti piegati alle estremità, e riuniteli assieme, alternando una verghetta di bismuto ed una di rame: avrete con ciò una specie di catena metallica (fig. 653) a quattro elementi e con sette saldature, che potrà servirvi a formare una pila termoelettrica. Per ottenere questo effetto basterà, per esempio, disporre l'apparato in modo

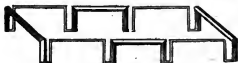



Fig. 653.

che, incominciando da una saldatura estrema, tutte le dispari sieno immerse in un bagno d'acqua bollente, e tutte le pari sieno circondate da una massa di ghiaccio deliquescente. In questa serie, così disposta, ogni cilindro di bismuto colle saldature delle estremità, mantenute a temperature differenti, rappresenta una coppia completa: le coppie successive agiscono tutte nel medesimo senso, e la serie intiera è una vera pila termoelettrica. In questa pila la distribuzione degli stati elettrici corrispondenti alle diverse coppie è eguale a quella della pila voltaica; e qui ancora la differenza algebrica delle tensioni polari è proporzionale al numero delle coppie unite in serie.

Ma, come si capisce facilmente, la pila descritta è incomoda e perchè esige di essere scaldata uniformemente in tante parti diverse, e perchè occupa molto spazio. Nobili dispose le cose in modo da rimediare a questi due difetti dello strumento. Egli forma la serie rettilinea, alternando le asticciuole di bismuto con altre eguali d'antimonio, e poi la ripiega a *zig-zag* (fig. 654), in modo che tutte le armature di posto pari riescano da una parte, e quelle di posto dispari dalla parte contraria. È manifesto che in questo caso si potrà con un vaso solo di acqua calda scaldare tutte le saldature di una specie, e mantenere le altre alla temperatura dell'ambiente. La catena così formata termina naturalmente ad una estremità coll'asta *b* di bismuto, che rappresenta il polo negativo, se scaldansi le saldature pari; ed all'altra porta un'asta d'antimonio *a*, che, nel caso supposto, costituisce il polo positivo della pila. Per maggiore comodità poi, si forma colla serie delle asticciuole un fascio prismatico (fig. 655), disponendo parallelamente gli strati soprapposti, sicchè l'insieme rappresenti una catena metallica, simile alla precedente, che ripiega più volte sopra sè stessa. La superficie destra del prisma contiene tutte le saldature *pari*, e nella sinistra si trovano le saldature *dispari;* queste due superficie s'appellano *le facce della pila.* Ogni strato di asticciuole è separato dai vicini, per mezzo d'un foglio di carta verniciata; ed allo stesso modo è isolato ciascun elemento nei diversi strati. La pila vien chiusa in un telajo metallico, e le estremità di essa comunicano con due aste *m* ed *n* di ottone, isolate, che rappresentano i poli della pila.

Fig. 654.

Fig. 655.

Nell'anno scorso (1865) il signor Edmondo Becquerel presentò all'Accademia francese delle scienze una pila termoelettrica di notevole forza. L'elemento positivo di questa pila è una lamina di protosolfuro di rame, ed il negativo è una simile lamina di rame puro: ambedue hanno la lunghezza di 9 centimetri, e sono disposte verticalmente. Anche il signor Marcus annunziò all'Accademia delle scienze di Vienna un forte apparecchio termo-elettrico. Qui la coppia elementare è fatta da due leghe. L'inventore ne indica parecchie, che possono servire al medesimo scopo: una, per esempio, è quella formata di 65 parti di rame e 31 di zinco per l'elemento positivo, e di 12 parti d'antimonio e 5 di zinco per l'elemento negativo. I due elementi della coppia non si sal-

dano assieme, ma si riuniscono all'estremità, per mezzo di viti; e per riscaldare gli estremi di una specie, si fa uso di un piccolo fornello a gas. Le scoperte di Becquerel e Marcus sono molto interessanti, e lasciano sperare che forse per questa via si risolverà l'arduo problema di trovare una sorgente di elettricità continua e poco dispendiosa, onde molte altre meravigliose applicazioni dell'elettrico riescano anche utili.

698. **Correnti elettriche negli animali.** Dopo quanto abbiam detto, non deve recar meraviglia che gli animali possano dar origine nel loro stesso organismo a correnti elettriche, più o meno sensibili, essendo essi la sede di continue azioni chimiche. A questo proposito si citano alcuni pesci, e specialmente le torpedini, abbondanti nel mare Mediterraneo, le quali hanno la facoltà di dare gagliarde scosse. Di questi pesci, che si dissero poi *magici* od *elettrici*, attualmente se ne conoscono otto specie: quattro torpedini, il gimnoto elettrico, il siluro elettrico, il tetrodono elettrico, ed il tricuro elettrico. Il gimnoto è il più grande di tutti: ve ne sono di due metri e mezzo di lunghezza; ed è quello anche che dà scariche più potenti. È probabile che il gimnoto e gli altri pesci elettrici si servano della scarica elettrica per uccidere i pesci di cui si nutrono.

L'egregio professore Matteucci imaginò le più belle esperienze per conoscere le proprietà dei pesci elettrici, e specialmente della torpedine. Egli ha constatato che questo pesce può dare un numero grandissimo di scosse in breve tempo, ma successivamente decrescenti, sicchè alla fine perde pel momento la sua facoltà elettrica. L'illustre italiano ha verificato eziandio che l'animale ha due centri di energia elettrica, l'uno sul dorso e l'altro sul ventre, sicchè, toccando colle dita contemporaneamente queste due parti, si riceve la massima scossa. Questo effetto si manifesta ancora, quando si tocchino due punti del dorso o due del ventre, ma è tanto più debole quanto più quei punti sono vicini fra loro, e lontani dal centro di energia. Ma ciò che recò grande meraviglia fu lo scoprire nella torpedine un organo elettrico speciale, formato di due parti, ciascuna delle quali risulta da un grandissimo numero di colonnette verticali membranose, o per meglio dire, di tubi sottilissimi, internamente divisi, da molte esili membrane, in altrettanti piccoli scompartimenti, che sono riempiti di un umore particolare. Questo organo ha tutta l'apparenza di una pila a colonna, a coppie quanto più piccole tanto più numerose. Il cervello, formato di quattro lobi, ha stretta relazione coll'organo elettrico.

Il gimnoto ed il siluro hanno pure un organo elettrico par-

ticolare, ma i poli elettrici sono nella testa e nella coda dell'animale. Nel corpo del gimnoto il flusso elettrico è diretto dalla coda alla testa.

Nobili fu il primo a constatare l'esistenza di una corrente elettrica anche nella rana, detta per ciò *corrente propria della rana*.

Matteucci confermò la scoperta di Nobili, e dimostrò che tutti gli animali manifestano una corrente, che si deve riconoscere come proprietà dei muscoli, e disse per ciò *muscolare*. Egli ha costrutto una pila singolarissima con pezzetti di rane, posti gli uni accanto agli altri; arrivò persino ad avere una pila muscolare composta di rane vive, ovvero di piccioni vivi. Il Matteucci pensa che la corrente propria della rana sia una corrente muscolare. Bellissime sono le esperienze imaginate da questo dotto circa tale materia; ma noi tralasciamo sì delicati argomenti, e soltanto diremo che la forza elettromotrice d'un muscolo è maggiore nei mammiferi e negli uccelli che no'l sia nei pesci e nei batraci. Però codesta forza, la quale rapidamente diminuisce nei primi istanti successivi alla morte, perdura di più nei muscoli degli animali a sangue freddo, che in quelli ad attiva respirazione polmonare. Il nervo non esercita alcuna diretta influenza sulla forza elettromotrice del corrispondente muscolo; anzi il nervo, colla sua scarsa conducibilità, diminuisce l'intensità della corrente muscolare. I muscoli, che durante la vita sono destinati ad azioni più energiche, danno correnti più forti. Così, per esempio, si ottiene una corrente più forte dai muscoli del cuore che da quelli che avviluppano gli intestini. Tutti gli agenti, fisici e chimici, che modificano la contrattilità muscolare, modificano similmente la forza elettromotrice del muscolo.

Anche l'uomo colla contrazione muscolare può dar origine ad una corrente elettrica. Per farne l'esperienza, basta immergere un dito di ciascuna mano in due vasi separati, pieni d'acqua salata, e posti in comunicazione coi due fili d'un galvanometro; indi contrarre fortemente il muscolo d'un braccio, stringendo, per esempio, il pugno di una mano; allora si manifesta una corrente diretta in questo braccio dalla mano alla spalla. L'effetto aumenta, se più uomini si pongono nel circuito, e contraggono tutti insieme il muscolo dello stesso braccio. Le correnti muscolari sono dovute probabilmente alle azioni chimiche, che si compiono nella profondità degli organi, sia nell'atto della nutrizione del tessuto fibroso, sia al momento della respirazione.

699. **Elettricità dei vegetali nella germinazione**. La germinazione e la vegetazione delle piante sono accompagnate da sviluppo di elettrico. Pouillet, per dimostrarlo, ha fatta l'e-

sperienza seguente. In una camera chiusa e ben secca isolò dodici capsule di vetro, ricoperte di vernice, e riempitele di terra umida, vi seminò alcuni grani di frumento. Per mezzo di un filo metallico, mise poscia l'interiore di queste capsule in comunicazione col piatto d'un elettrometro condensatore. Finchè i semi non cominciarono a germinare, il condensatore non diede segno alcuno di elettricità; ma alla fine di tre giorni, essendo il germe uscito dalla terra, il condensatore, a tutte le ore del giorno e della notte, e per parecchie giornate consecutive, si mostrò sempre carico di elettricità negativa. Altre esperienze confermarono questi risultati; e da ciò il Pouillet dedusse che l'acido carbonico ed i vapori acquei, che partono dalle parti verdi delle piante, si caricano di elettricità positiva. A questo modo la germinazione sarebbe una sorgente dell'elettricità atmosferica: secondo Pouillet una superficie di 100 metri quadrati, coperta di vegetazione, sviluppa in un giorno abbastanza d'elettricità per caricare una forte batteria.

Correnti dei vegetali. Donnè osservò le correnti elettriche anche nei frutti; Becquerel e Zantedeschi hanno dimostrato l'esistenza di correnti elettriche nei rami, nelle radici e nelle foglie dei vegetali; e Buff ha pubblicate nuove esperienze in proposito, dalle quali risulta che nelle piante intatte, fornite di foglie e di radici, quando sono appena levate dal suolo, ha origine una corrente che dalle radici va alle foglie, traverso alla pianta; e che in un ramo, separato dal tronco la corrente cammina verso le foglie. La corteccia giovane e fresca, i bottoni, i fiori si comportano come le foglie. Buff conchiude in generale che le radici e tutte le parti interne delle piante, che sono riempite di succhi, sono negative quanto alle superficie esteriori più o meno umide.

ARTICOLO SECONDO

AZIONI DELLE CORRENTI SULLE CORRENTI.

700. **Denominazione delle correnti.** Le correnti s'appellano *rettilinee, curvilinee, rettangolari, circolari,* ecc., a seconda della forma del conduttore nel quale si propagano. Parimenti una corrente dicesi *indefinita* se il conduttore non ammette limiti determinati, e *stabile* se il conduttore rientra in sè stesso e forma un circuito completo. Per lo stesso principio, due correnti si chiamano *parallele, angolari,* ecc., quando i corpi che le conducono sono paralleli, oppure fanno un angolo tra loro.

701. Leggi delle correnti parallele. *Due correnti parallele si attraggono reciprocamente se hanno la medesima direzione, e si respingono se hanno direzione contraria.* Per dimostrare esperimentalmente la prima legge, si usa un piccolo strumento formato da due colonne verticali *t* e *v* (fig. 656), le quali, mediante un'asta orizzontale, sostengono due piccole capsule metalliche *x* ed *y*, riempite di mercurio. Un filo di rame, ripiegato a forma di rettangolo *bcde*, senza toccarsi in *a*, terminato alle due estremità con due punte d'acciajo perpendicolari al lato *eb*, appoggia, per queste punte medesime, nelle due capsule metalliche *x* ed *y*. Quando si vuol fare l'esperienza, si dispone il rettangolo mobile in maniera che il piano di esso sia inclinato al piano delle due colonne, e poscia si mette il piede di una colonna, per esempio *t*, in comunicazione col polo positivo della pila, e si unisce l'altra col polo negativo. Allora la corrente traversa l'apparato nel senso indicato dalle frecce, sicchè nel lato *de* è ascendente come nella colonna *t*, e nel lato *bc* è discendente come nella colonna *v*. Or bene si scorge che, appena nata la corrente, il rettangolo si move in modo da avvicinarsi col lato *de* alla colonna *t*, e col lato *bc* alla colonna *v*, disponendosi nel piano delle colonne stesse, come è rappresentato nella figura.

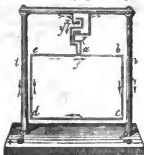



Fig. 656.

L'apparato descritto serve anche a mettere in evidenza la seconda legge. Ma in questo caso, al rettangolo *ebcd* bisogna sostituire l'altro indicato dalla figura 657, in modo che ognuna delle due correnti dei lati verticali abbia direzione contraria a quella che passa nella colonna vicina. Disposte le cose in modo che il piano del rettangolo mobile giaccia nel piano delle due colonne, al momento in cui si chiude il circuito, il rettangolo si sposta, per mettersi in posizione perpendicolare al piano delle due colonne.

Fig. 657.

702. Leggi delle correnti angolari. *Due correnti angolari si attraggono quando ambedue concorrono al vertice, o partono da esso; e si respingono se l'una s'avvicina, e l'altra s'allontana da quel punto.* Queste leggi si dimostrano facilmente, fissando sotto al rettangolo, nel piano dell'apparecchio descritto,

un filo metallico, e facendo passare per esso una corrente, mentre il rettangolo, disposto in modo da formare un angolo col filo (fig. 658), è attraversato da un'altra corrente. Si vede chiaro

Fig. 658.

che gli angoli *ard* e *crb* cominciano tosto a diminuire, ed invece gli angoli *arc* e *brd* aumentano, sino a che *rd* sia venuto a collocarsi sopra di *ar* ed *rc* sopra *rb*. Dalla seconda di queste leggi Ampére dedusse che una corrente angolare tende a raddrizzarsi, e che gli elementi di una corrente rettilinea si respingono reciprocamente.

703. **Legge delle correnti sinuose.** L'azione di una corrente sinuosa è identica a quella di una corrente rettilinea di eguale lunghezza in projezione. Chi bramasse avere di ciò una prova esperimentale, ad un sistema ABCD (fig. 659), mobile allo stesso modo del rettangolo descritto, e percorso dalla elettricità, accosti una corrente *mno, sinuosa* da *m* ad *n*, e *rettilinea* da *n* ad *o*, e tale che i limiti della parte sinuosa distino fra loro quanto gli estremi del tratto rettilineo. Si troverà che, qualunque sia la posizione del conduttore mobile rispetto alla doppia corrente, esso non è da questa nè attratto nè ripulso, come sarebbe se una delle due parti avesse un'azione prevalente: dunque gli effetti della corrente rettilinea sono elisi dalla corrente sinuosa contraria, ossia gli effetti di queste due correnti equivalgono. Tale conseguenza si poteva prevedere; giacchè nel conduttore sinuoso la corrente va nella direzione del rettilineo, e di più in due versi contrarj: venendo ad elidersi gli effetti di queste componenti opposte, rimane solo quello che si manifesta nella direzione rettilinea.

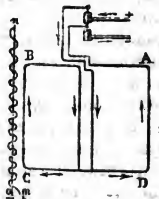



Fig. 659.

704. **Azione di una corrente indefinita fissa sulle correnti finite, perpendicolari e mobili.** Le leggi esposte ci fanno conoscere tutte le azioni che le correnti fisse esercitano sulle correnti mobili. Incominciamo dal supporre che la corrente fissa sia indefinita, e l'altra sia finita. Conviene qui distinguere due casi, cioè quello in cui *la corrente mobile può spostarsi parallelamente a sè stessa* da quello nel quale può invece *rotare attorno ad una sua estremità*. Nel primo supposto, la corrente finita mobile è sollecitata a moversi parallelamente alla corrente indefinita fissa, nella medesima direzione se si allontana da essa, ed in direzione contraria se invece vi si avvicina; giacchè la

corrente mobile è attratta da quella parte della corrente fissa colla quale si avvicina o si allontana dal vertice dell'angolo, da loro formato, ed è ripulsa dall'altra parte; sicchè in fin dei conti riesce sottomessa ad una forza parallela alla direzione della corrente indefinita, che la trasporta nel senso di questa o nel contrario. Da qui scaturisce la conseguenza che la corrente finita, quando possa spostarsi parallelamente a sè stessa, ma sotto condizione che non si allontani da un asse determinato, girerà attorno a questo asse medesimo, finchè si trovi con esso nel piano parallelo alla corrente indefinita e fissa; ed allora si fermerà al lato dell'asse d'onde viene questa corrente, se allontanasi da essa, ovvero al lato opposto se ad essa si avvicina.

Dopo ciò, potete indovinare cosa avverrà nel secondo caso. La corrente finita mobile attorno una sua estremità, essendo in ogni posizione attratta da una parte, e ripulsa dall'altra parte della corrente indefinita fissa, è obbligata a rotare costantemente intorno a quella medesima estremità. Il senso della rotazione così concepita dalla corrente mobile è diverso, a seconda che essa si allontana o si avvicina al centro.

Azione d'una corrente orizzontale indefinita sopra un sistema finito di correnti orizzontali e verticali. Una corrente rettangolare o circolare (fig. 660), posta in un piano verticale, quando soggiace all'azione d'una corrente orizzontale indefinita PQ, si stabilisce in quella posizione nella quale il suo piano riesce parallelo a PQ, e la corrente nella parte del circuito mobile, più vicina alla corrente indefinita fissa, sia diretta nel medesimo senso di questa. La ragione di ciò è evidente: tanto le due parti DH e PH, quanto le due HC ed HQ, si attraggono; dunque dovranno disporsi in modo da essere parallele.

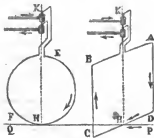



Fig. 660.

705. **Azione d'una corrente circolare sopra una corrente finita perpendicolare o parallela al suo piano.** Le medesime leggi delle correnti angolari mostrano, e le esperienze confermano che una corrente verticale finita, mobile attorno un asse parallelo, che passi pel centro d'una corrente circolare orizzontale, deve rotare costantemente nella medesima direzione di questa, se da essa si allontana, ed in direzione contraria se vi si avvicina. Si abbia, per esempio, un vaso

di rame (fig. 661), riempito d'acqua, intorno al quale, lungo un filo metallico coperto di seta, giri una corrente. L'apparecchio è così fatto che questa corrente passa in seguito alla parte inferiore della colonna B, fissa al centro del vaso; e di qui va nei fili CH e DK, nell'anello *m*, e per conseguenza si trasmette al liquido ed alle pareti del vaso, e così ritorna alla pila. Ebbene il circuito KDCH, mobile attorno al pernio, pel quale appoggia sull'estremità di B, e l'anello *m*, appena la corrente è stabilita, cominciano a girare in senso contrario della corrente circolare, e continuano così, finchè dura il passaggio dell'elettricità. Se la corrente poi, invece di essere ascendente nella colonna B, e discendente nei fili CH e DK, si eleva in questi e discende per quella, l'apparato si move nel medesimo senso della corrente circolare. Palese ne è il motivo: nel primo caso, camminando la corrente circolare, come lo indica la freccia, la corrente DK è attratta dalla parte sinistra della corrente circolare, ed invece è ripulsa dalla parte destra; ma nell'altro caso le relazioni della medesima corrente, colle due parti della corrente circolare, s'invertono, e per conseguenza cambia il senso del movimento.

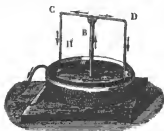
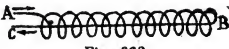



Fig. 661.

Quando la corrente finita è parallela al piano della corrente circolare, l'effetto delle loro reciproche azioni è ancora un movimento rotatorio della prima. Di fatto sia ABC (fig. 662) la corrente circolare, ed *nm* la corrente finita. Finchè la direzione delle due correnti è quella indicata dalle frecce, la corrente *nm* è continuamente attratta verso C e ripulsa da B; quindi obbligata a rotare in senso contrario alla corrente ABC. Ma la rotazione di *nm* avverebbe nella direzione di ABC, se quella si propagasse da *m* ad *n*; giacchè allora essa sarebbe attratta verso B. e ripulsa da C.

Fig. 662.

706. **Azione delle correnti sopra i solenoidi.** Un sistema di correnti *stabili* o chiuse, *circolari*, *eguali* quanto alla lunghezza, alla intensità ed alla direzione, e disposte in modo d'avere i loro centri sopra una linea qualunque perpendicolare ai loro piani, s'appella *solenoide*. Per preparare un solenoide, si prende un filo di rame coperto di seta, lo si avvolge a modo di una spirale (fig. 663), servando rettilinea l'ultima parte BC, che

si ripiega nell'interno della spira, in modo da occuparne l'asse. L'azione della parte curva di un filo così piegato, e percorso da una corrente, si riduce a quella di tante correnti circolari e parallele quante sono le curvature, e di una corrente rettilinea che si propaga in senso contrario a quella che passa per BC; epperò, siccome gli effetti di queste ultime due correnti si elidono così in fin dei conti, il congegno non equivale che ad un sistema di correnti circolari, parallele, ed eguali, ossia ad un *solenoide*. Un solenoide s'appella *dextrorsum* o *sinistrorsum*, a seconda che la corrente, entrando nell'elica, incomincia a propagarsi da destra a sinistra o viceversa. Per formarvi un'idea esatta di questa distinzione, figuratevi di aver il solenoide in mano rivolto verso di voi, ed in modo che l'estremità per la quale entra la corrente sia più vicina al petto, ed all'alto del cilindro formato dall'elica: esso sarà *dextrorsum* se, per scorrere col dito sul filo, incominciando da questo estremo, quasi per accompagnare od indicare il movimento della corrente, dovete movere la mano verso dritta; e si dirà invece *sinistrorsum* se la dovete portare verso sinistra. Or bene è importantissimo a sapersi che una corrente rettilinea fissa, la quale passi vicino ad un solenoide mobile, lo volge in modo che l'asse di esso sia perpendicolare alla sua direzione. Se questo solenoide è *sinistrorsum*, l'estremità per la quale entra la corrente, nella posizione d'equilibrio, si trova alla sinistra della corrente fissa; e se è *dextrorsum*, si ferma invece al lato sinistro l'estremità per cui la corrente esce. Tutto ciò è conseguenza di quanto abbiam detto circa l'azione di una corrente indefinita fissa sopra una corrente circolare mobile (704); ma può essere verificato esperimentalmente, ponendo il solenoide AB (fig. 664) sopra le due capsule dell'apparato già descritto (fig. 656), e facendovi passare in vicinanza una corrente rettilinea.

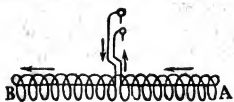



Fig. 663.

Fig. 664.

Il prof. Govi costrusse un solenoide termoelettrico, unendo assieme molti anelli metallici, ciascuno dei quali è d'antimonio per una metà, e di bismuto nell'altra.

Azioni reciproche dei solenoidi. Che se al medesimo solenoide AB, così sospeso, presentiamo successivamente le estremità di un altro solenoide, il fenomeno sarà ancora più curioso. Quando la corrente entra od esce *per ambedue* le estremità avvicinate, havvi fra loro ripulsione; ma se per l'una di queste estremità la corrente entra, e per l'altra esce, si scorge che esse si attraggono.

ARTICOLO TERZO

AZIONI RECIPROCHE FRA LE CORRENTI E LE CALAMITE.

707. **Proprietà delle calamite.** I minerali di ferro, espressi dalla formola Fe^3O^4, s'appellano *calamite naturali* per distinguerli dalle calamite *artificiali*, che sono aghi o barre d'acciajo temperato, alle quali siansi comunicate, coi processi artificiali che descriveremo in seguito, le medesime proprietà delle calamite naturali. Le calamite si chiamano anche *magneti*, come le dissero gli antichi, in quanto che questo minerale fu da essi trovato presso Magnesia, città della Lidia.

Attrazione fra le calamite ed il ferro. La prima proprietà scoperta nelle calamite fu ch'esse attraggono il ferro. In seguito si trovò che questi corpi possono attrarre allo stesso modo anche l'acciajo, il niccolo, il cobalto ed altre sostanze. Tale proprietà delle calamite venne chiamata *forza magnetica;* i corpi che, come il ferro, obbediscono a questa forza si dissero *magnetici;* e la causa di questi fenomeni s'appellò *magnetismo.* L'esperienza prova che l'attrazione magnetica, al pari dell'attrazione molecolare, è reciproca; ed inoltre, si esercita traverso al vuoto, ed anche a tutti i corpi fluidi o solidi che non sono punto magnetici.

Poli e linea neutra delle calamite. È poi degnissimo di considerazione che non tutte le parti di una calamita attirano con egual forza, ma vi sono sempre due porzioni della sua superficie dove la proprietà magnetica si manifesta con maggior vigore. Se la calamita ha la forma di spranga, queste porzioni sono alle estremità, come si può conoscere rotolando la calamita nella limatura di ferro, o sparpagliando la limatura stessa nella superficie d'un foglio di carta steso sopra una calamita. Nel primo caso si vede che la limatura si attacca alle estremità (fig. 665), molto più abbondantemente che altrove, formandovi come due ciuffi belli a vedersi, ma poi va diminuendo rapidamente verso il mezzo della spranga, ove la calamita rimane al nudo; e nell'altra esperienza, dalla disposizione delle particelle di ferro aderenti alla carta (fig. 666) pare quasi che le forze attrattive agiscano come da due centri diversi, posti alle estremità, e si riuniscano press'a poco nel mezzo della spranga. La sezione *media nt* (fig. 665), dove la forza magnetica è nulla, o per lo meno debolissima, si chiama

Fig. 665.

la *linea neutra;* e le parti *a* e *b*, ove l'attrazione magnetica è massima, ossia i centri di questa attrazione, s'appellano *i poli della calamita*. Tra le altre cose delle quali si deve tener conto una molto singolare è che, rompendo una calamita secondo la linea neutra, non si ottengono già due calamite, ciascuna con un polo unico, ma hanno ambedue i rispettivi poli, separati da una

Fig. 666.

linea neutra. Suddividendo per quanto si vuole le parti di una calamita, i frammenti che si moltiplicano sono altrettante calamite con due poli; sicchè non è possibile avere una calamita priva della linea neutra, o tale che possegga un polo solo. Si incontrano però alcune calamite che hanno più di due poli; le quali pertanto, rotolate nella limatura di ferro, mostrano parecchi centri (fig. 667), costantemente separati da una linea neutra. In questo caso i poli non estremi si denominano *punti conseguenti*.

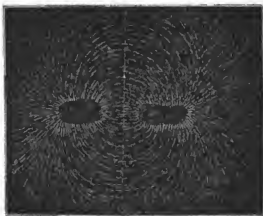



Fig. 667.

Posizione d'equilibrio delle calamite mobili. Un'altra curiosa proprietà delle calamite è quella che stiamo per dire. Mettete un leggerissimo ago calamitato (fig. 668) sopra un pernio verticale, sicchè possa moversi liberamente in un piano orizzontale: questo ago, dopo un certo numero di oscillazioni, si arresterà in modo d'avere

Fig. 668.

l'asse diretto dal nord al sud. Se lo si sposta da questa posizione,

si osserva che vi ritorna costantemente, e tenendo sempre la medesima estremità verso il nord. Mutando la calamita, il fenomeno si ripete; e sorreggendone parecchie nella stessa maniera, avendo la cautela di tenerle ad una certa distanza, si dispongono tutte secondo direzioni parallele fra loro ed a quella in cui si fermò la calamita nel primo esperimento. L'estremità del magnete diretta verso il nord della terra s'appella *polo nord;* e dicesi *polo sud* l'estremità opposta. Il piano verticale che passa per l'asse d'una spranga calamitata *ab* (fig. 669) orizzontale, libera nel suo movimento, e ferma nella posizione d'equilibrio, si chiama il *meridiano magnetico*. Questo piano non coincide ordinariamente col meridiano terrestre *md*, e l'angolo che fa con esso, in un luogo determinato della terra, dicesi *la declinazione del luogo;* la quale è *occidentale* oppure *orientale*, a seconda che il polo nord si trova all'occidente od all'oriente del meridiano terrestre.

Fig. 669.

Le linee della superficie terrestre che passano pei paesi di eguale declinazione magnetica, si chiamano linee *isogoniche*.

Per misurare la declinazione magnetica di un paese, si adopera la *bussola di declinazione*, la quale non è altra cosa che un ago calamitato leggerissimo (fig. 670), simile a quello che vi ho descritto, il cui perno è fisso al centro di un circolo orizzontale, graduato alla circonferenza. Tutti capiscono che, messo lo strumento in modo che il diametro NS si trovi nel meridiano del luogo, essendo l'estremità N rivolta al nord, i gradi compresi fra il diametro NS e l'ago calamitato in equilibrio esprimeranno la declinazione del luogo stesso; la quale sarà occidentale ovvero orientale, a seconda che l'ago è alla sinistra od alla destra dello zero. È chiaro poi che l'apparato stesso potrà invece servire a trovare il meridiano di un luogo, quando se ne conosca la declinazione magnetica. Della bussola fanno uso eziandio i marinari per dirigere i loro

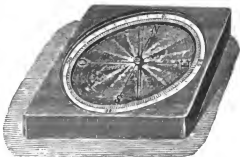
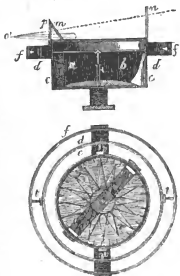



Fig. 670.

bastimenti; ma allora vien posta in una scatola C (fig. 671), sostenuta da due punte u, diametralmente opposte e fisse nel circolo d, il quale è portato esso pure da due punte opposte t, perpendicolari alle prime ed appartenenti ad un cerchio esterno f, fermato al bastimento. Con questo congegno, che s'appella la *sospensione di Cardano*, le oscillazioni della nave non vengono trasmesse alla calamita. Sul piano della bussola marina è inoltre descritta la rosa dei venti.

Fig. 671.

La declinazione di un luogo è soggetta a continue variazioni, alcune delle quali sono *regolari* (secolari, annue e diurne), ed altre sono *accidentali*. Queste variazioni consistono in una oscillazione dell'ago di declinazione ora all'est ed ora all'ovest. Il P. Secchi ha formulato nelle seguenti leggi i fatti che attualmente si conoscono in questo genere di cose. 1.° *L'oscillazione diurna dell'estremo dell'ago che guarda il sole è la stessa nei due emisferi; sicchè quel che fa il polo boreale nel nostro emisfero, viene imitato dal polo australe nell'altro emisfero; e nei luoghi vicini all'equatore essa segue la legge dell'emisfero in cui trovasi il sole, e quindi varia di segno agli equinozj.* 2.° *La variazione diurna ha un doppio periodo sovrapposto, diurno e semi-diurno i cui limiti variano colle stagioni e coi luoghi.* Quattro o cinque ore prima che il sole passi pel meridiano astronomico, il polo dell'ago, che è meno discosto del sole, trovasi ad un massimo di escursione occidentale; indi volgesi a levante con crescente velocità fino al passaggio del sole pel meridiano magnetico, e dopo ciò, diminuisce nella rapidità del movimento, ma continua ancora a spostarsi nello stesso verso per una o due ore. Il polo in discorso, arrivato così alla massima escursione orientale, s'arresta per ritornare indietro fino al tramonto del sole. Nella notte, quando il sole passa inferiormente per lo stesso meridiano, si osserva una oscillazione analoga a quella della giornata, ma molto meno ampia. Le ore limiti di questi cambiamenti variano colle stagioni, anticipando nell'estate e ritardando nell'inverno, e le

ampiezze delle escursioni sono prossimamente proporzionali al rapporto degli archi solari diurni coi notturni. Nei due emisferi tali variazioni succedono allo stesso modo, purchè si avverta che passando dall'uno all'altro emisfero cambia il polo, a cui si riferisce l'osservazione. 3.° *La variazione annua è simile in tutti i luoghi del globo, e dello stesso segno della declinazione del sole.* L'oscillazione dell'ago di declinazione in ogni giorno dell'anno è la somma di due distinte oscillazioni, l'una delle quali dipende dall'angolo orario, ossia dalla distanza del sole dal meridiano astronomico, e l'altra dipende dalla declinazione o distanza del sole dall'equatore. Queste due oscillazioni, soprapponendosi variamente, producono le variazioni diurne ed annue.

Ora, affinchè vi facciate un'idea esatta della vera posizione in cui si stabilirebbe una calamita affatto libera ne' suoi movimenti, fate un altro supposto: imaginate cioè che l'ago calamitato sia sospeso pel suo centro di gravità ad un asse orizzontale (fig. 672), perpendicolare al meridiano magnetico, sicchè l'ago stesso possa moversi liberamente in questo piano. Allora la direzione dell'ago varia molto, a seconda del luogo in cui si trova. Poco lontano dai poli della terra, sonvi posizioni in cui l'ago si mantiene verticale; ma l'estremità volta al basso cambia da un polo all'altro, ed è sempre quella dello stesso nome del polo ove vien posto. Presso l'equatore l'ago calamitato è orizzontale; ma nelle altre località è più o meno inclinato all'orizzonte, e nell'emisfero boreale tiene al basso il polo nord, mentre nell'emisfero australe è più basso il polo sud.

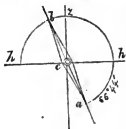



Fig. 672.

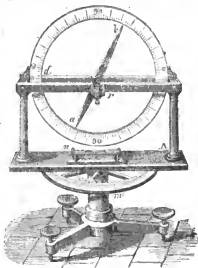
L'angolo compreso dal piano orizzontale che passa pel centro di gravità dell'ago, e la metà dell'asse di questo ago, situata al dissotto del piano stesso, chiamasi l'inclinazione del luogo. In generale l'inclinazione aumenta colla latitudine; e s'appella *equatore magnetico* la linea che passa pei punti della superficie del globo, ove l'inclinazione è nulla. Questa linea è sinuosa, e non assomiglia che imperfettamente ad una circonferenza massima della terra; non coincide coll'equatore terrestre, e lo incontra in due punti.

Le linee che giacciono nella superficie della terra e congiungono i paesi di eguale inclinazione, si dicono linee *isocliniche*.

Come per trovare la declinazione di un paese qualunque si è inventata la bussola di declinazione, così anche per conoscerne l'inclinazione si è ideata la *bussola d'inclinazione*. La parte es-

senziale di questo strumento è l'ago d'inclinazione posto al centro di un cerchio graduato (fig. 673). Il cerchio *m'* serve a disporre il cerchio M nel meridiano magnetico, ed il livello *n* giova a mettere il piano A nel piano orizzontale. Anche l'inclinazione varia regolarmente od accidentalmente.

Fig. 673.

Il P. Secchi ha scoperta una legge importantissima di questi fenomeni, ed è questa. *L'inclinazione ha un periodo complementare della declinazione: tanto essa, quanto la forza totale, seguono generalmente il periodo composto accennato per la declinazione.* Le fasi dell'inclinazione sono analoghe a quelle della declinazione, ma anticipate di tre ore. Di qui lo stesso P. Secchi dedusse, come legge generale, che, *combinando le forze dalle quali l'ago è sollecitato nel meridiano con quelle che agiscono perpendicolarmente a questo piano, si trova che l'estremo dell'ago libero descrive in ogni giorno una ovale, la cui forma è più o meno regolare secondo i luoghi, ma non molto dissimile dall'uno all'altro.*

Da quanto abbiam detto, circa le variazioni regolari della declinazione e dell'inclinazione magnetica, appare che esse dipendono probabilmente da un'azione diretta del sole. Il P. Secchi ammette che le cose avvengano come se il sole fosse una potente calamita, la quale agisce continuamente sullo stato magnetico della terra a seconda della relativa loro posizione. Questa ipotesi venne confermata dalla scoperta d'una variazione periodica undecennale, che sembra coincidere con un simile periodo delle macchie solari. Sabine trovò pure che tali variazioni sono collegate altresì col moto della luna. L'influenza di questo satellite della terra sarebbe analoga, ma molto più debole di quella del sole.

Le *variazioni irregolari* o *perturbazioni,* tanto di declinazione quanto d'inclinazione, si mostrano allo stesso modo dipendenti da un'azione diretta del sole. Secchi osserva, che: 1.° le perturbazioni seguono il tempo locale; 2.° esse sono massime negli equinozj e minime nei solstizj: il numero delle perturbazioni nei

mesi di dicembre e di giugno è appena un terzo di quelle che avvengono nei mesi di settembre e di marzo. Anche le perturbazioni offrono un periodo di circa dieci anni, verificandosi dei massimi e dei minimi relativamente ai massimi ed ai minimi delle macchie solari. Ma i fenomeni accompagnati dalle più notevoli perturbazioni sono le aurore boreali, ed in generale i fenomeni elettrici che si compiono nell'atmosfera, sicchè si deve ammettere col P. Secchi, che l'elettricità atmosferica sia la causa principale delle perturbazioni magnetiche.

Attrazioni e ripulsioni reciproche delle calamite. La proprietà or ora accennata delle calamite, di stabilirsi in una posizione determinata, quando sono libere nel loro movimento, dipende da un'altra proprietà più generale ch'esse hanno. Se ad una calamita *ab* (fig. 674), sospesa orizzontalmente per mezzo di un brandello di carta *c*, sostenuto alla sua volta da un filo non torto, si avvicinano successivamente i poli di un'altra calamita, quella si sposta ben presto dal piano del meridiano magnetico, dall'una o dall'altra parte, a seconda dei poli avvicinati, mostrando costantemente che *i poli dello stesso nome si repellono e quelli di nome contrario si attraggono.* Per mezzo della bilancia di Coulomb (fig. 675), si può verificare esperimentalmente che le attrazioni e le ripulsioni magnetiche sono in ragione inversa del quadrato delle distanze. Alla calamita AB, sospesa orizzontalmente, si avvicina la calamita *ab*, e quando la prima siasi fermata nella nuova posizione, si fa rotare il punto di sospensione, onde diminuire la distanza delle due calamite, e si tien conto della torsione del filo, con un metodo analogo a quello che già conoscete (668).

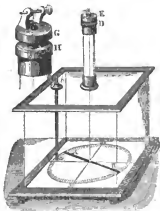



Fig. 674.

Fig. 675.

Ora, per renderci più facile l'applicazione di questa proprietà alla spiegazione dei fatti precedentemente esposti, circa la posizione d'equilibrio d'un ago calamitato, leggero e mobile, facciamo l'ipotesi che sotto la calamita *ab* (fig. 674) ne sia posta

un'altra simile, in una direzione orizzontale qualunque, ed a poca distanza: vedremo la prima girare nel suo piano orizzontale, e dopo qualche oscillazione fermarsi in una direzione parallela all'asse dell'altra, ed in modo che i poli di nome contrario siano posti al medesimo lato del filo, l'uno al dissopra dell'altro. Questa esperienza ci fa supporre che il globo terrestre sia una calamita di straordinarie dimensioni, i cui poli magnetici siano poco discosti dai poli di rotazione. Secondo questa ipotesi, ogni polo di una calamita sarebbe attratto da un emisfero della terra e ripulso dall'altro. Ciò spiega ottimamente perchè ai poli magnetici della terra l'ago calamitato si disponga in posizione verticale: esso deve obbedire all'azione prevalente del polo ove trovasi collocato; mentre all'equatore magnetico, trovandosi la calamita ad eguali distanze dai due poli della terra, deve disporsi in posizione orizzontale. Il polo magnetico dell'emisfero boreale, attraendo il polo nord delle calamite, avrebbe le proprietà del polo sud, ed il polo magnetico dell'emisfero australe sarebbe dotato delle proprietà magnetiche del polo nord d'una calamita naturale od artificiale. Perciò, il polo nord delle calamite appellasi anche *polo australe*, ed il polo sud dicesi *polo boreale*.

L'influenza del globo terrestre sulle calamite si riduce così all'azione d'una coppia di due forze eguali, parallele ed opposte, aventi generalmente una direzione inclinata all'orizzonte, ed applicate a due punti dell'asse vicini alle estremità. Riflettendo che l'effetto di una simile coppia (75) non può essere per nulla un movimento di traslazione nello spazio, s'intende eziandio perchè una calamita, galleggiante sull'acqua, ruoti intorno al proprio centro fino a porsi nel meridiano magnetico, ma non scorra sulla superficie del liquido, nè verso l'uno nè verso l'altro dei due poli terrestri; e similmente perchè il peso di una calamita non varii per nulla a seconda della intensità magnetica; e per esprimere la cosa in generale, si capisce perchè l'azione della terra sulle calamite sia *di direzione* e non di traslazione.

Le linee che uniscono tutti i punti della terra, nei quali l'intensità magnetica ha lo stesso valore, si appellano linee *isodinamiche*.

Induzione magnetica. Quando il ferro viene a contatto con una calamita, od anche si trova a piccola distanza da essa, ci offre un fenomeno che ha qualche analogia colla elettrizzazione per influenza, e perciò si chiama *influenza* od *induzione magnetica*. Un piccolo cilindro di ferro dolce *a* (fig. 676), avvicinato al polo B di una calamita, vi aderisce; acquista la proprietà di attrarre la limatura di ferro, e diviene una vera cala-

mita, che presenta i *due poli*, posti in senso inverso a quelli della prima, e la *linea neutra*, la quale invece di trovarsi presso a poco al mezzo del cilindro, è più vicina all'estremità superiore. Ponendo a contatto del cilindro *a* un secondo cilindro eguale, questo non solo vi rimane sospeso, divenendo allo stesso modo un'altra ca-

Fig. 676.

lamita, ma può sostenerne alla sua volta un terzo, e così via fino ad un certo limite, formando la *catena magnetica*. Tale calamitazione però è temporanea, e cessa totalmente, quando i piccoli cilindri sieno distaccati dalla spranga induttrice: basta levare il primo, perchè tutti gli altri si separino e cadano. Da ciò scaturisce la conseguenza che, come le attrazioni e le ripulsioni elettriche si manifestano solo fra i corpi elettrizzati, così le magnetiche non si esercitano che fra i corpi magnetizzati: la calamita attrae il ferro e le altre sostanze magnetiche, in quanto che innanzi tutto le magnetizza. A chiarir meglio questa idea, giova l'esperienza del *paradosso magnetico*. Sopra una calamita A (fig. 677), che sostenga un piccolo pezzo di ferro, per esempio una chiave, si faccia scivolare un'altra eguale calamita B, in modo che i poli si trovino posti diversamente: quando la calamita superiore è presso a coprire del tutto l'inferiore, la chiave si distacca; perchè, essendo contraria l'induzione delle due calamite, la chiave non si magnetizza, e non è attratta.

Fig. 677.

Se al ferro dolce si sostituisce l'acciajo, le circostanze del fenomeno cambiano. Un cilindro di questa sostanza, toccando una calamita, in sulle prime non vi aderisce; ma se lo si tiene per qualche minuto a contatto di essa, è magnetizzato meglio del ferro dolce, ed anche distaccato conserva le proprietà magnetiche; ossia l'acciajo si magnetizza lentamente, ma diviene una *calamita permanente*. La resistenza dell'acciajo a subire, ed a conservare poscia l'induzione magnetica, s'appella *forza coercitiva*. L'acciajo meglio temperato è quello che possiede la maggior forza coercitiva.

Dopo ciò, non farà più meraviglia che si possano preparare artificialmente le calamite. Per questo, si usano diversi metodi. Il più facile è quello del *semplice contatto;* e consiste nello sfregare a più riprese il polo di una calamita sopra un'asta d'acciajo, ma sempre in un medesimo verso. Invece, secondo il metodo del *contatto separato*, coi poli contrarj di due calamite eguali si sfrega contemporaneamente l'asta, partendo sempre dal mezzo ed andando verso le estremità. Meglio si ottiene l'effetto col *doppio contatto;* cioè, fissando l'asta d'acciajo *sn* (fig. 678) fra due calamite opposte, e sfregandola poscia con due altre, come nel processo precedente. Non bisogna però dimenticare mai che i poli delle due calamite applicati ad una metà dell'asta debbono essere dello stesso nome, e contrarj a quelli posti al l'altra, altrimenti l'operazione non riescirà.

Fig. 678.

V'è poi un altro metodo di fabbricare le calamite, ed è quello di servirsi della forza magnetica della terra. L'esperienza mostra che una barra di ferro dolce, posta nel meridiano magnetico, e diretta come l'ago d'inclinazione, diviene una calamita temporanea; ed anche permanente, se, mentre è tenuta a quel modo, se ne percuotono fortemente le estremità. Un filo di ferro dolce offre lo stesso fenomeno, e per la torsione acquista un po' di forza coercitiva. L'acciajo non si comporta diversamente, quanto all'effetto finale. Dalla medesima causa si credono ragionevolmente originate le calamite naturali. In generale, la terra influisce su tutte le sostanze magnetiche, con una intensità che, a pari circostanze, dipende dalla loro posizione. L'effetto è massimo quando la direzione di queste sostanze è parallela all'ago d'inclinazione, ed è nullo se gli è perpendicolare.

Di qui s'intenderà facilmente come una calamita, abbandonata a sè, possa col tempo guadagnare o perdere di forza magnetica, per l'influenza della terra. Chi non vede di fatto che, se la calamita è in posizione tale che la terra tenda a magnetizzarla nel verso in cui è già magnetizzata, essa aumenterà di forza? Ed invece, se l'azione della terra è contraria, l'intensità della calamita andrà diminuendo? Ad impedire quest'ultimo effetto nelle

calamite, che non sono poste nel meridiano magnetico, si usa munirle di *armature* o di *àncore;* cioè, avendo parecchie calamite prismatiche, si dispongono poco distanti, a due a due, in modo che i poli contrarj siano dalla stessa parte, e poscia si uniscono le loro estremità con due pezzi di ferro dolce (fig. 679); ovvero, se trattasi di armare una calamita sola, si mettono a contatto dei poli due pezzi d'acciajo (fig. 680), od uno solo che li tocca ambedue, quando la calamita abbia la forma di ferro di cavallo (fig. 681). In ogni caso questi pezzi d'acciajo si magnetizzano per l'influenza della calamita, ed esercitano alla lor volta una influenza magnetica sulla calamita medesima, e propriamente in quel modo che è conforme alla condizione di essa. Il buon effetto delle armature si può renderlo manifesto, attaccando un piccolo recipiente al ferro sostenuto da una calamita (fig. 681), ed accrescendone di giorno in giorno la carica: si trova che in fin dei conti la calamita vale a portare un peso molto maggiore di quello che poteva sostenere in principio.

Fig. 679.

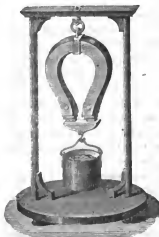



Fig. 680.

Per armare una calamita naturale, si fissa innanzi tutto la posizione dei due poli; in seguito si tagliano, nella calamita, due facce piane perpendicolari alla linea dei poli, e contro di queste facce si applicano due lamine di ferro dolce (che nella figura 682 sono verticali), mantenute in sesto da due rettangoli di rame, e terminate inferiormente da due pezzi prismatici parimenti di ferro dolce. Ciascuna delle due lamine verticali riesce magnetizzata, ed i due pezzi prismatici, chiamati i *piedi*

Fig. 681. Fig. 682.

della calamita, rappresentano i poli di nome contrario del sistema, e portano un altro pezzo di ferro, a cui si può attaccare un piccolo recipiente, per accrescerne gradatamente la carica.

708. **Azione delle correnti sopra un ago calamitato mobile**. Dopo questa digressione sulle proprietà delle calamite, siamo in grado di conoscere l'effetto prodotto in questi corpi da una corrente che passi loro in vicinanza. Rappresentiamoci un ago di declinazione *s* (fig. 683), posto sotto ad un filo metallico, il quale possa essere attraversato da una corrente. Se fissiamo l'apparato in una posizione tale che l'ago *s* riesca parallelo al filo metallico, e poscia facciamo passare per questo la corrente nel verso indicato dalle frecce, che supporremo da sud a nord, l'ago devia tosto dalla sua posizione normale, e tende a disporsi in croce col filo. Nelle condizioni

Fig. 683.

supposte, il *polo australe* (o polo nord) si *volge all'ovest.* Se la corrente passa in senso inverso, vale a dire dal nord al sud, il *polo australe* si *piega all'est.* Che se la corrente passa non più sopra, ma sotto dell'ago, allora esso dirige *all'est* il polo australe quando la corrente si propaga dal sud al nord, e lo porta *all'ovest* allorchè si trasmette dal nord al sud. Questo fatto importante fu scoperto nel 1802 dal filosofo Romagnosi; ma il primo a studiarlo minutamente ed a pubblicarlo (nel 1819) fu Oersted, professore di fisica a Copenhagen.

Per farci un'idea esatta del fenomeno, ed anche per fissarcelo bene in mente, facciamo un supposto. Ammesso che la corrente nel reoforo si propaghi dal polo positivo al negativo della pila (693), imaginiamo una piccola figurina stesa sopra il filo conduttore, in modo che la corrente le passi sempre *davanti, ed andando dai piedi alla testa.* La calamita viene costantemente deviata dalla corrente, in maniera che il suo polo nord (od australe) si move sempre verso la sinistra della figurina (fig. 684 e fig. 685), che si chiama anche la sinistra della corrente. Questa regola, trovata da Ampére, raccoglie sotto di sè i quattro casi accennati sopra, ed ha offerto il mezzo di esprimere con molta semplicità le leggi di tali fenomeni.

La grandezza dell'angolo fatto dall'asse della calamita colla direzione della corrente (che può variare fra lo zero e 90°), ossia l'azione della corrente sulla calamita, dipende dalla quan-

tità di elettrico che passa in ogni istante lungo il filo conduttore, e per conseguenza dalla grandezza delle coppie che formano la pila. Biot e Savart hanno scoperto che questa azione, fra 15 e 120 millimetri, varia anche in ragione inversa della semplice distanza della corrente dall'ago. I medesimi dotti stabilirono eziandio che, se la corrente è angolare, e le due parti di essa sono egualmente inclinate sul piano orizzontale ove trovasi la calamita, l'intensità della sua azione sopra quest'ultima sta sempre in ragione inversa della distanza del vertice dell'angolo dal centro della calamita, ed è inoltre direttamente proporzionale alla tangente della metà dell'angolo formato da una parte della corrente col piano orizzontale medesimo.

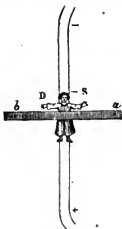
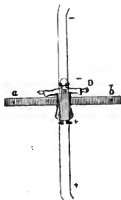



Fig 684. Fig. 685.

709. **Moltiplicatore — galvanometro**. Del principio esposto, che l'azione della corrente sopra una calamita mobile è proporzionale alla quantità di elettrico che passa nel conduttore, ossia alla intensità della corrente, i fisici hanno fatto una bella applicazione alla misura della intensità medesima. Chi ha compresa la regola d'Ampère intende facilmente che, facendo passare un filo di rame sotto un ago calamitato sospeso pel suo centro di gravità, e poi ripiegandolo al dissopra, l'effetto sarà *moltiplicato*, perchè le quattro correnti associeranno le loro azioni per deviare la calamita in una direzione unica. Questo che diciamo di un semplice rettangolo si applica ad un circuito di forma qualunque; sicchè, qualora la corrente, invece di fare un giro solo, ne faccia due, tre, e più, ma sempre in un medesimo verso, l'azione di essa diverrà doppia, tripla, ed in generale crescerà col numero dei giri. Ma alla sensibilità di un moltiplicatore nuoce evidentemente l'azione della terra, la quale, richiamando incessantemente l'ago nel meridiano magnetico, s'oppone all'effetto della corrente. Dall'altra parte però, se l'ago fosse sottratto all'influenza della terra, sicchè non avesse alcuna tendenza ad orientarsi, qualsiasi cor-

rente produrrebbe sempre il massimo effetto. Per accrescere ancora più la sensibilità di un moltiplicatore, si è dunque tentato di impiccolire la tendenza della calamita a disporsi nel meridiano magnetico, senza annullarla; ed a ciò si pervenne con un semplicissimo congegno. Imaginatevi due aghi magnetici *ab* (fig. 686) orizzontali e paralleli fra loro, che differiscano poco nelle loro forze magnetiche, ma siano posti al rovescio. È chiaro che, se i due aghi avessero precisamente la stessa forza magnetica, la terra non produrrebbe più nessun effetto sensibile sopra di essi così riuniti, giacchè mentre tenderebbe a far rotare l'uno in un verso, tenderebbe colla stessa energia a girare l'altro nel verso contrario, e quindi le due azioni si eliderebbero, ed il sistema sarebbe *compensato* od *astatico;* ma, essendo poco differenti le intensità magnetiche dei due aghi, il sistema, abbandonato a sè, può ancora obbedire all'influenza della terra, ma con forza debolissima. Per ciò, sospendendo un tale sistema al filo del moltiplicatore (fig. 687), in modo che il reoforo circondi solamente uno degli aghi, mentre viene diminuita l'influenza della terra, riesce altresì accresciuta l'azione della corrente, perchè anche l'ago superiore tende a girare nel verso dell'inferiore.

Fig. 686. Fig. 687.

Il moltiplicatore così perfezionato, detto anche *galvanometro* o *reometro,* come lo si usa più comunemente, risulta da una intelajatura D (fig. 688), sulla quale è avvolto un filo di rame coperto di seta, le cui estremità comunicano colle aste ricurve H e K. In mezzo a questa intelajatura è sospeso un ago calamitato A, che forma un sistema imperfettamente astatico coll' altro *ab*, di forza magnetica poco minore. Il cerchio graduato, che è sotto all'ago *ab,* ed è sostenuto dalla intelajatura stessa, serve a misurare la maggiore o minore de-

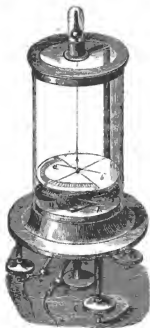



Fig. 688.

viazione del sistema dalla sua posizione ordinaria: nella quale l'ago *ab* deve soprastare direttamente alla linea media del lembo graduato, distinta con uno zero. Lo strumento è chiuso in un cilindro di vetro, che sorge da un piedestallo portato da tre piedi a vite (uno dei quali è C), onde, allungando questo o quel piede, si possa rendere orizzontale il cerchio graduato, al momento dell'esperienza. Un galvanometro, unito ad una pila termo-elettrica di Nobili (697), forma il prezioso apparato, di cui fece uso il Melloni nelle sue belle esperienze di termologia (cap. 3.°, art. 2.°), conosciuto nella scienza sotto il nome di *termo-moltiplicatore* (fig. 689). Il calorico irradiato dal corpo cimentato è raccolto ad una estremità della pila *cd*, ed a seconda della sua intensità, produce una corrente più o meno energica, che viene indicata dal galvanometro.

Fig. 689.

Ma il galvanometro descritto presenta qualche inconveniente, che può nuocere alla esattezza della osservazione. Per ciò, a determinare l'intensità relativa delle correnti, si usano di preferenza le due ***bussole dei seni*** e delle ***tangenti***. Il principio che guidò alla costruzione di questi apparati è questo: l'intensità di una corrente è proporzionale al seno e alla tangente dell'angolo di deviazione.

La *bussola dei seni*, imaginata da Pouillet, e perfezionata da Gaugain, consiste in un cerchio verticale (fig. 690), che porta al centro un ago di declinazione, ed è circondato, per uno o più giri, dal filo conduttore. L'uso dello strumento è semplicissimo. Innanzi tutto, si ferma il cerchio nel meridiano magnetico; poscia si fa passare la corrente nel

Fig. 690.

circuito, ed appena che l'ago deviato siasi stabilito in una nuova posizione, si fa girare il cerchio intorno al suo diametro verticale, di modo che il piano della corrente coincida col piano verticale che passa per l'asse magnetico dell'ago. L'intensità della corrente sarà misurata dal seno dell'angolo di rotazione, segnato sul circolo orizzontale.

La *bussola delle tangenti* (fig. 691) non differisce essenzialmente da quella dei seni: il cerchio orizzontale graduato è molto più piccolo e collocato a poca distanza dall'ago; lo zero della divisione è nel piano del circolo verticale, sicchè, quando questo trovasi nel meridiano magnetico, l'ago si ferma allo zero; e per conoscere la deviazione prodotta dalla corrente, basta pertanto osservare il grado ove si stabilisce l'ago medesimo, mentre l'apparato fa parte del circuito della pila.

Fig. 691.

Talvolta, per confrontare tra loro due o più correnti, importa di aumentare o diminuire successivamente la lunghezza del circuito. A questo intento Wheastone imaginò il *reostato* (fig. 692), composto da due cilindri paralleli, e mobili intorno al loro asse. Un filo di ottone, dopo d'aver girato per un buon tratto sul primo cilindro A, parimenti di ottone, passa sul cilindro B di legno. La corrente entra per *o*, scorre nel filo che avvolge B, e poscia, quando passa sul cilindro A, che è conduttore, sfugge immediatamente per l'altro reoforo *n*. Ognuno intende per ciò che, facendo rotare, nel verso opportuno, il cilindro B, sicchè il filo, svolgendosi da A, si avvolga intorno a B, crescerà la lunghezza del circuito; ed invece questa diminuirà, se raccogliesi il filo sul cilindro A.

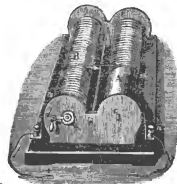
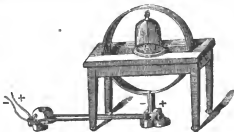



Fig. 692.

Leggi d'Ohm sull'intensità delle correnti. Gli apparati descritti hanno servito a Pouillet per confermare esperimentalmente le

leggi di Ohm sulla intensità delle correnti. Queste leggi possono essere formulate come segue. 1.° L'intensità di una corrente è la stessa in tutti i punti del circuito. 2.° Questa medesima intensità è direttamente proporzionale alla somma delle forze elettro-motrici che sono in attività nel circuito. 3.° Essa sta in ragione inversa della lunghezza ridotta di tutte le parti del circuito stesso. 4.° L'intensità in discorso è parimenti in ragione inversa della sezione e della conducibilità del filo che trasmette la corrente. Per ciò, se con I si rappresenta l'intensità della corrente, con E la somma totale delle forze elettro-motrici in attività nella pila, e con R la somma totale delle resistenze che l'elettricità incontra nella sua propagazione, si ha la *formola di Ohm* $I = \frac{E}{R}$. Chi si rammenti quanto abbiam detto più sopra, capisce che, qualora si chiami e la forza elettro-motrice di una coppia, r la resistenza che la coppia medesima oppone alla elettricità, n il numero delle coppie che compongono la pila, ed r' la resistenza esterna, cioè quella dell' arco interpolare, la formola precedente si cambia nell'altra $I = \frac{n \cdot e}{n \cdot r + r'}$, ossia $I = \frac{e}{r + \frac{r'}{n}}$. Se $r' = o$, cioè se il circuito è chiuso colla immediata comunicazione dei poli, senza conduttore estraneo, l'intensità della corrente riesce costante, qualunque sia n, giacchè si ha $I = \frac{e}{r}$. Invece, coll'arco interpolare, l'intensità aumenta al diminuire del rapporto $\frac{r'}{n}$, ossia coll'accrescere del numero n delle coppie.

710. **Azione delle calamite sulle correnti**. Come le correnti stabiliscono in una posizione determinata le calamite, queste alla lor volta, quando le condizioni dell' esperimento lo permettono, fanno girare le correnti, in modo che il polo australe della calamita si trovi sempre alla loro sinistra. Per provarlo esperimentalmente, basta avvicinare al dissotto d'un circuito mobile (fig. 657), percorso dalla corrente, una calamita molto energica: tosto la parte mobile comincia a girare, e dopo alcune oscillazioni si arresta in un piano perpendicolare alla calamita, in modo che il polo australe di quest' ultima riesca alla sinistra della corrente.

711. **Azione della terra sulle correnti**. Il fatto che la terra agisca come una grande calamita ci invita naturalmente

a cercare se dessa abbia pertanto influenza anche sulle correnti. I progressi della scienza hanno permesso di constatare la cosa in maniera semplicissima e decisiva, ed ormai è fuor di dubbio che la terra stabilisce le correnti mobili in una posizione determinata, od imprime loro un continuo movimento di rotazione, a seconda che queste correnti sono verticali oppure orizzontali. Le leggi di questo fenomeno sono le seguenti: 1.º qualunque corrente *verticale*, mobile intorno ad un asse parallelo con essa, si dispone sotto l'influenza della terra, in un piano perpendicolare al meridiano magnetico, e si arresta, dopo alcune oscillazioni, *all'est* del suo asse di rotazione allorchè è *discendente*, ed *all' ovest* quando è *ascendente;* 2.º ogni corrente *orizzontale*, sotto la medesima influenza della terra, ruota continuamente *dall'est all'ovest*, passando pel nord, se *allontanasi* dall'asse di rotazione, e *dall'ovest all'est* quando invece si avvicina a questo asse.

Ora si può facilmente prevedere la posizione d'equilibrio d'una corrente chiusa (fig. 693), mobile attorno un asse verticale. La corrente nella parte superiore tende a girare in senso contrario della corrente nella porzione inferiore, e per conseguenza l'azione della terra sopra queste due correnti rimane senza effetto; mentre nelle parti laterali la corrente deve disporsi da un lato all'est, e dall'altro all'ovest dell'asse di rotazione: le due azioni concordano, la corrente si dispone in un piano perpendicolare al meridiano magnetico, ed in maniera da riescire discendente all'est del suo asse di rotazione, ed ascendente all'ovest. L'esperimento ha lo stesso esito, se alla corrente rettangolare si sostituisce una corrente circolare (fig. 694).

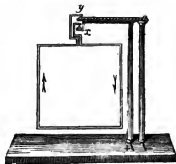



Fig. 693.

Fig. 694. Fig. 695.

Chi pertanto desidera avere una corrente affatto libera, deve formare un circuito nel quale le azioni della terra sulle diverse parti di esso sieno eguali e contrarie (fig. 695), e perciò si distruggano. Le correnti in un circuito così combinato si dicono *astatiche*.

Azione della terra sopra i solenoidi. Dal principio precedente scaturisce la conseguenza che i solenoidi (706) debbono obbe-

dire all'azione della terra, e disporsi in modo che le loro correnti elementari giacciano in tanti piani perpendicolari al meridiano magnetico, e siano discendenti all'est ed ascendenti all'ovest del piano medesimo; ossia in maniera che il loro asse sia costantemente parallelo all'ago di declinazione, e ciascuna estremità si diriga sempre dalla medesima parte, proprio alla stessa guisa di una calamita. L'esperienza ha confermato pienamente questa conclusione; e perciò, come per le calamite, così anche pei solenoidi l'estremità che si volge verso il nord si chiama *polo nord* (o polo australe), e quella che si dirige verso il sud si appella *polo sud* (o polo boreale).

712. Teoria d'Ampére sul magnetismo. Dopo questo fatto, aggiunto all'altro (706), che le estremità omologhe o dello stesso nome di due solenoidi si repellono, ed invece le contrarie si attraggono, Ampére non esitò di rifiutare le antiche idee circa la natura del magnetismo, e di asserire che le calamite sono corpi consimili ai solenoidi. Egli suppose che ogni particella materiale di una calamita sia circondata da una piccolissima corrente elettrica, e che tutte queste correnti molecolari siano in essa dirette nello stesso senso (fig. 696), sicchè le loro azioni si sommino e diano una risultante che equivalga ad una corrente unica, diretta circolarmente alla superficie della calamita. Un altro fatto poi, che accrebbe la probabilità della bella ipotesi d'Ampére, fu l'aver scoperto che fra un solenoide ed una calamita si manifestano identicamente gli stessi fenomeni di attrazione e ripulsione

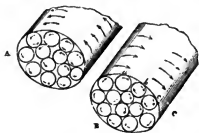



Fig. 696.

reciproca, che si osservano fra due calamite, ovvero fra due solenoidi; cioè il polo nord di un solenoide attrae ed è attratto dal polo sud di una calamita, mentre repelle ed è ripulso dal polo nord della medesima calamita. Possiam dunque conchiudere con Faraday, che all'estremità sud di una calamita, vale a dire al polo boreale, le correnti d'Ampére sono dirette nel senso del movimento degli aghi d'un orologio, ed in senso contrario del polo australe, vale a dire dell'estremità volta verso il nord.

Concepita questa idea, Ampére si levò naturalmente ad una più ardita; fu tratto cioè ad allargare la sua ipotesi anche alla terra, ed imaginò che questa pure assomigli ad un gran solenoide, incessantemente percorso da correnti elettriche, le quali girino attorno al globo dall'est all'ovest, perpendicolarmente, in ciascun

luogo, al meridiano magnetico. Queste correnti si soprappongono e producono una corrente risultante unica, diretta da levante a ponente lungo l'equatore magnetico. Il commendatore Matteucci ha dimostrato che in un filo metallico, le cui estremità siano immerse per un buon tratto nella terra, circola una corrente elettrica, la quale nel meridiano ha una direzione costante, varia d'intensità con un certo periodo diurno, e deve essere riconosciuta come corrente propria della terra. Dell'origine di queste correnti tratteremo in seguito.

ARTICOLO QUARTO

AZIONI DELLE CORRENTI SULLE SOSTANZE MAGNETICHE.

713. **Magnetizzazione per mezzo delle correnti.** L'esposta teoria d'Ampére trovò un buon argomento anche in un altro fatto, ed è quello che ora vi esponiamo. Se in un tubo di vetro, sul quale sia avvolto un filo di rame, si pone un'asta di ferro o d'acciajo, e poi si fa passare una corrente pel filo esterno, l'asta interna diviene una calamita. Il polo australe di essa è sempre alla sinistra della corrente; sicchè quando l'elica è *dextrorsum* (fig. 697), il polo australe *a* risulta all'estremità d'onde la corrente esce; ed invece, essendo l'elica *sinistrorsum* (fig. 698), il polo australe *a* si trova all'estremo per cui entra la corrente. Che se sopra una medesima canna di vetro si mettono tre spire (fig. 699), in modo che le due estreme sieno dextrorsum, e la media sinistrorsum, la calamita, nata sotto l'influenza delle tre correnti, presenta due punti conseguenti. L'azione magnetica della corrente è, in ogni caso, istantanea; epperò basta avvicinare un momento solo i reofori, ed estrarne una scintilla, perchè l'asta interna acquisti le proprietà della calamita. Ma la durata dell'effetto è ancora qui diversa a seconda che l'asta è di ferro dolce o d'acciajo: il primo si magnetizza temporariamente, ed il secondo perennemente. Sotto questo rispetto l'azione d'una corrente è dunque affatto simile a quella d'una calamita.

Fig 697. Fig. 698. Fig. 699.

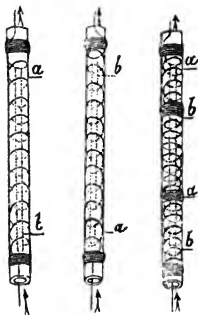
Elettro-calamite. Il nuovo metodo di magnetizzazione è però di gran lunga superiore a tutti gli altri in quanto alla forza.

Quando l' asta sia grossa, il reoforo abbia un buon diametro, e giri per molte volte intorno a quella, ed anche la pila sia gagliarda, si ottiene una calamita di forza straordinaria. Per farne l'esperimento, si adopera una verga di ferro dolce piegata a ferro di cavallo (fig. 700), intorno alla quale si avvolge per molti e molti giri un filo conduttore continuo, coperto di seta, girandolo nel medesimo verso in ambedue i rami, e poscia si mettono in comunicazione coi poli di una pila le due estremità del conduttore. Tenendo un pezzo di ferro dolce, detto l'*áncora*, a piccola distanza dagli estremi della verga, si osserva che, appena chiuso il circuito, desso viene attratto con grande energia. Una verga di ferro dolce, del diametro d'un decimetro, piegata nel modo descritto, e circondata da un filo lungo 600 metri, sotto l' influenza della corrente di una pila di Bunsen composta di 40 coppie, valse a portare 10 tonnellate, oltre l' áncora. Secondo Jacobi e Lentz, la forza magnetica così acquistata dal ferro dolce è proporzionale all' intensità della corrente, al numero dei giri della spirale ed al diametro della verga cilindrica di ferro, sia poi essa piena o tubulare. All'áncora della calamita si può sostituire un'altra elettro-calamita (fig. 701), a poli contrarj. La potenza dell'apparato viene allora considerevolmente accresciuta.

Fig. 700.

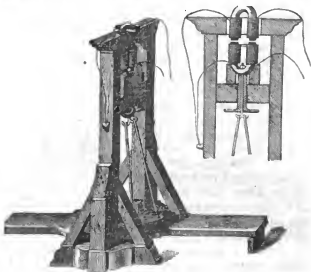



Fig. 701.

714. Telegrafi. Le elettro-calamite vennero applicate, nel 1837 da Wheatstone, all'importantissima invenzione del *telegrafo elettro-magnetico*. Non essendo nè opportuno nè possibile l'esporre qui tutti i sistemi che furono proposti o praticati nella costruzione di questi telegrafi, ci restringeremo a descrivere quelli che si possono dire i principali.

Telegrafo a quadrante. Uno dei telegrafi in discorso è quello ideato dal medesimo Wheatstone. Esso risulta da due parti essenziali: l'una si chiama il *manipolatore* (fig. 702), ed è de-

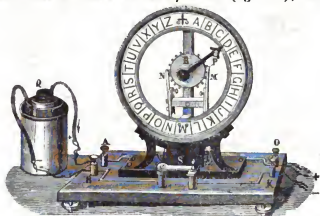



Fig. 702.

stinata a trasmettere i segnali; e l'altra si appella il *ricevitore* (fig. 703). Vicino al manipolatore è posta una pila a carbone Q, il cui reoforo positivo comunica col bottone A, ed il reoforo negativo è unito al bottone B. I bottoni O e K del manipolatore sono rispettivamente in comunicazione coi bottoni D ed L del ricevitore. La corrente parte da A; arriva, per mezzo di un filo di rame, ad una lamina N di ottone; traverso

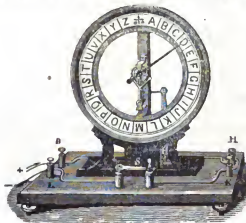



Fig. 703.

alla ruota R, passa alla lastra M, al bottone O ed al bottone D

del ricevitore; qui circola nel filo di un rocchetto *b*, che non si vede nella figura 703, ma è rappresentato da solo nell'altra 704, e dopo ritorna al manipolatore pel bottone K, ed alla pila dal punto B. Mentre la corrente passa nel filo del rocchetto *b*, il pezzo di erro dolce, che vi è contenuto, diventa una calamita, attrae il braccio *a* di ferro della leva a gomito *aCi*, mobile intorno al punto *e*, e sollecitata in senso contrario dalla spirale *r*. Questa leva agisce sopra una seconda *d*, la quale, mediante una forchetta F, fa passare un dente della ruota G. Tutto l'artificio sta nell'interrompere la corrente al manipolatore, sicchè il pezzo di ferro dolce del ricevitore, acquisti e perda alternativamente le proprietà magnetiche, facendo così passare per ogni volta un dente della ruota G. Per ottenere quest'ultimo effetto, si fabbricano le due estremità superiori delle lamine N ed M in modo che la prima sia sempre a contatto dei denti della ruota R, e la seconda non lo sia che ad intermittenze. Così, girando la ruota R, il circuito si chiude quando un dente di essa tocca la lamina M, e si riapre al cessare di questo contatto. Si capisce pertanto che ad ogni giro della ruota R la corrente nascerà, e poi cesserà tante volte quanti sono i denti della ruota stessa, e per conseguenza, insieme ad un dente di R, ne passerà uno anche di G. Ciò posto, chicchessia comprende il buon effetto del meccanismo. Ciascuna delle due ruote ha 26 denti, dei quali 25 corrispondono alle lettere dell'alfabeto segnate sull'apparato, e l'ultimo corrisponde all'intervallo che separa la lettera A dalla lettera Z. Quindi, portando, per esempio, l'indice P dallo zero fino alla quarta lettera, è chiaro che la ruota G gira nell'atto stesso per quattro denti, e l'indice fisso al centro di essa si avanza di un numero di lettere eguale a quello delle lettere percorse dall'indice P. Supponiamo pertanto che, essendo il manipolatore a Milano, si voglia trasmettere la parola *Volta* al ricevitore posto a Como. La persona che sta al primo apparato, incomincia a portare l'indice P fino alla lettera V, ed ivi lo trattiene per un tempo brevissimo. Intanto l'ago dell'apparecchio di Como, riproducendo fedelmente i movimenti dell'indice di Milano, si ferma alla stessa lettera; ed allora la persona che là si trova ad osservarlo, nota questa lettera. Poscia continuando il movimento dell'indice P, sempre nel medesimo senso, alle lettere O, L, T, A, e facendo sempre una pausa sopra ciascuna, la lancetta del ricevitore progredisce, e si ferma successivamente

Fig. 704

alle stesse lettere, sicchè la parola *Volta,* alla fine di un tempo brevissimo, viene trasmessa da Milano a Como.

715. **Telegrafo scrivente.** Nel medesimo anno 1837 l'americano Morse imaginò il telegrafo scrivente, ammirabile per la semplicità della costruzione. Esso è composto parimenti di due parti, cioè del *manipolatore* e del *ricevitore.* Incominciamo dalla descrizione di quest'ultimo, rappresentato dalla figura 705. Nella

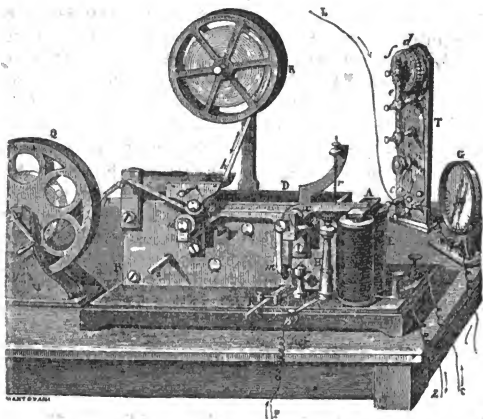



Fig. 705.

cassa BD è collocato un congegno affatto simile a quello d'un orologio che mette in movimento il cilindro *u*, e l'altro che gli sta sopra. Questi due cilindri, movendosi in senso contrario, precisamente come quelli d'un laminatojo, trascinano, come lo indicano le frecce, una lunga lista di carta *hp*, che viene così a svolgersi dal tamburo R, ed è poscia ravvolta sull'altro Q. In vicinanza della cassa BD sono fissati due rocchetti E, circondati dal conduttore, e contenenti due pezzi di ferro dolce, i quali sono magnetizzati quando vi passa la corrente, che entra per P ed esce per Z. Al dissopra dell'elettro-calamita E trovasi una leva di primo genere, mobile attorno al punto *x*, e terminata ad una estremità da un pezzo di ferro dolce A, ed all'altra da una punta *o*, che riesce proprio sotto alla lista di carta *hp*. Quando la corrente è interrotta, per effetto di una molla spirale *r* il

ferro A non riesce più a contatto dell'elettro-calamita E, nè la punta *o* giunge a toccare la carta, sicchè questa può scorrere pian piano al dissopra dell'ago, senza riceverne l'impronta. Ma, appena chiuso il circuito, la calamita temporaria si magnetizza, ed attira a sè l'estremo A. Per ciò, l'altra estremità si alza, e la punta *o* arriva a toccare ed a premere alquanto la carta. E poichè questa carta va scorrendo continuamente, e sempre in una medesima direzione, è chiaro che deve risultarvi segnata una linea retta, la quale sarà tanto più lunga, quanto più lungamente la punta *o* resterà premuta contro la carta. Se dopo alcun tempo, all'altra stazione verrà riaperto il circuito, la punta *o* si abbasserà, e la carta passerà intatta. Richiudendo il circuito per uno spazio di tempo più o meno lungo, si formerà una riga separata dalla prima, e di lunghezza determinata. Se la corrente non dura che per un momento solo, la carta riceverà l'impronta di un punto. Si possono dunque ottenere e righette e punti, con intervalli di spazio più o meno grandi; e ciò basta perchè possa comporsi un alfabeto, anzi un'infinità di alfabeti. Eccovi, per esempio, l'alfabeto di Morse, adottato generalmente in Francia.

.—	—...	—.—.	—..	.	..—..	..—.	——.	....
a	b	c	d	e	è	f	g	h

————	..	.———	—.—	.—..	——	—.	———	.——.	——.—
ch	i	j	k	l	m	n	o	p	q

.—.	...	—	..—	..——	...—	.——	—..—	—.——	——..
r	s	t	u	ü	v	w	x	y	z

—————	.————	..———	...——	....—	.....	—....	——...	———..	————.
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9.

Il *manipolatore* del telegrafo di Morse, detto anche la *chiave* od il *tasto*, consiste in una piccola tavoletta (fig. 706) isolata, o fatta di materia coibente, sulla quale è appoggiata una leva metallica *ab*, mobile nel suo mezzo attorno di un asse orizzontale. L'estremità *a* alla parte superiore porta un bottone B, ed inferiormente ha una piccola prominenza, che si chiama il *martello*, e proprio sotto a questa sorge una colon-

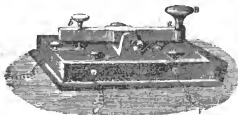



Fig. 706.

netta x di metallo, denominata l'*incudine,* la quale si congiunge con un polo della pila, per mezzo del filo P. L'altro polo comunica col ricevitore mediante il conduttore P (fig. 705), ed il ricevitore poi col filo Z si unisce al filo L. Quando il tasto è abbandonato a sè, il martello non si trova a contatto dell'incudine; giacchè una molla, posta sotto al braccio *a*, tende a sollevarlo; per conseguenza il circuito riesce aperto. Ma, premendo col dito il bottone B, si reca il martello a toccare l'incudine, si chiude il circuito della pila, epperò si magnetizza l'elettro-calamita all'altra stazione, e si preme lo stilo contro la carta. Abbandonando il tasto, s'interrompe la corrente, e lo stilo si distacca dalla carta. Dovendo pertanto scrivere in questa una righetta, si tien premuto il tasto per qualche momento; volendo un punto, basta batterlo col dito, e tosto lasciarlo in libertà.

Siccome poi ogni stazione deve avere un ricevitore ed un manipolatore, così per non moltiplicare i conduttori, all'estremità *b* della leva si applica una vite, che volge in basso la punta, ed essendo libero il tasto, comunica col ricevitore della stessa stazione a cui esso è posto, per mezzo del filo A, unito al conduttore (fig. 705). Al telegrafo si unisce anche un parafulmine T onde preservare la persona che lo dirige, nel caso che, in occasione di temporale, i fili conduttori si caricassero dell'elettricità atmosferica; ed un galvanometro G per conoscere se la corrente passa o nò negli apparecchi.

Il telegrafo descritto trovava però una difficoltà ad essere usato, se cioè la linea telegrafica era lunghissima v'abbisognava una pila fortissima per vincere la resistenza d'un sì lungo reoforo, e produrre una corrente che bastasse ad abbassare il braccio della leva all'altra stazione, ed a premere lo stilo contro la carta, con forza sufficiente da incavarvi i punti e le righette. A questo inconveniente rimediò lo stesso Morse in maniera ingegnosa e semplice. La corrente della linea, invece di entrare nel ricevitore e movere il pezzo di ferro A (fig. 705), pel filo fermato al bottone L (fig. 707) si reca nei rocchetti E, e

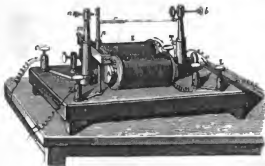



Fig. 707.

poscia ritorna alla pila d'onde è partita, lungo l'altro conduttore congiunto al bottone T. Nel passaggio di questi rocchetti, la corrente magnetizza i pezzi di ferro dolce che vi sono contenuti, i quali perciò attirano l'armatura A, fissata alla parte inferiore di una leva verticale p. Così l'estremità più alta di questa leva viene ad urtare contro la punta di un bottone n, e chiude il circuito di una piccola pila che gli sta presso, e la corrente che da qui si sveglia è quella poi che scrive. In questo modo, mentre da una parte l'apparato vale a trasmettere il dispaccio colla medesima esattezza, giacchè il secondo circuito si apre o si chiude insieme al primo; dall'altra parte la corrente, che non basterebbe a scrivere, basta a chiudere il circuito della *pila locale*, e questa, come vicinissima all'apparecchio scrivente, può essere mediocre, e bastare nondimeno a produrre l'effetto. All'apparecchio descritto i francesi hanno dato il nome di *relais*, cioè *posta di cambio*, quasi per significare che il dispaccio arrivando qui con una corrente indebolita, ne assume un'altra, e portato da questa compie il viaggio.

Modificazione introdotta nel telegrafo di Morse. Affinchè il pregio del telegrafo di Morse fosse intero, s'introdusse ben presto una mutazione; cioè si disposero le cose in modo che la scrittura fosse fatta coll'inchiostro, e quindi avesse a riescire più chiara, ed esigesse una intensità minore nella corrente. Sopra un cilindro a (fig. 708) viene distesa una stoffa, che si man-

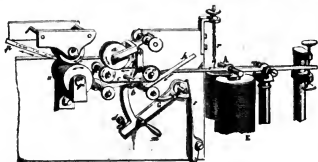



Fig. 708.

tiene costantemente imbevuta d'inchiostro; ed al dissotto vi passa a dolce sfregamento una catena senza fine, avvolta sulle due puleggie o, o', l'ultima delle quali è mossa dal meccanismo d'orologeria dell'apparato. La catena, nel tratto orizzontale inferiore, riesce press'a poco parallela ad una porzione, poco più bassa, della lista di carta hp; ma non la tocca, se il circuito è aperto.

Appena però la corrente passa nell'elettro-calamita, l'armatura A è attirata, la leva *k* si abbassa, e lo stilo *i*, fissato all'estremità di essa, premendo sulla catena, la porta a contatto della carta, e ve la mantiene finchè dura la corrente.

716. **Telegrafo tipografico.** Non meno ingegnoso del telegrafo di Morse è il *telegrafo tipografico*, inventato da Hughes, professore di fisica a New-York. Il motore dello strumento è un peso di 50 chilogrammi, applicato ad una catena senza fine X (fig. 709), la quale trasmette il movimento alla ruota M, e per

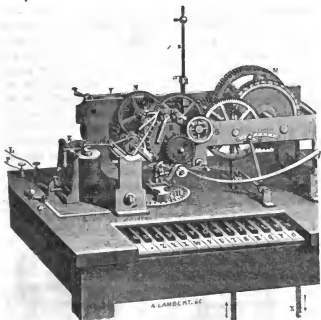



Fig 709.

una serie di rocchetti e di ruote, all'altra N. All'asse di quest'ultima è fissato un toro di ottone Y, che serve a rendere regolare il movimento, ed anche a sospenderlo, quando gli si oppone il fermaglio *m*. Per accelerare o ritardare il moto dell'apparato, è fissata in *z* una lamina molto elastica, a cui si congiunge una molla orizzontale a spira, terminata da un piuolo, il quale urta contro una specie di rocchetto, infilato nell' albero della ruota N. Sollevando od abbassando un anello *x*, che circonda l'asta *z*, mentre è sostenuto indipendentemente da essa, si possono accelerare

o ritardare le oscillazioni dell'asta medesima, e per conseguenza anche la rotazione di N. A questo movimento partecipa eziandio la ruota *g*, l'albero verticale a cui è unito il pezzo *h* (che perciò viene a scorrere sul disco di rame H), e la ruota *a*. Questa si chiama la *ruota tipografica*, giacchè porta sul contorno ventisei lettere ed un punto in rilievo, e si tinge continuamente d'inchiostro, sfregando contro il cilindro B. I denti, o le lettere della ruota, d'ordinario non toccano la carta che passa sul cilindro *c*, e tutto l'artificio della macchina sta appunto nell'alzare questo, e portarlo, colla carta, al contatto della ruota superiore, al momento in cui trovasi dirimpetto la lettera che si vuol stampare. La corrente è quella che produce questo effetto; ma si badi bene che qui l'elettro-calamita E agisce in modo inverso a quelle degli altri telegrafi elettrici, cioè essa abbandona l'armatura *n* quando è attraversata dalla corrente, ed invece l'attrae quando la corrente è interrotta. Imperocchè il ferro dolce di questa elettro-calamita trovasi a contatto, nella parte inferiore, con una piccola calamita a ferro di cavallo, e per conseguenza, essendo magnetizzato da quest'ultima, si tiene vicina l'armatura; ma siccome le cose sono disposte in modo che la corrente tenda a magnetizzare l'elettro-calamita in senso contrario allo stato magnetico in cui si trova, così, al passaggio di quella, l'elettro-calamita perde tutto il suo magnetismo, ed abbandona l'armatura *n*, che, per effetto della molla spirale *r*, si alza. Per ciò, mentre va in alto il braccio *d* (fig. 710), si abbassa il braccio *d'*; e così il rocchetto *c'*, non

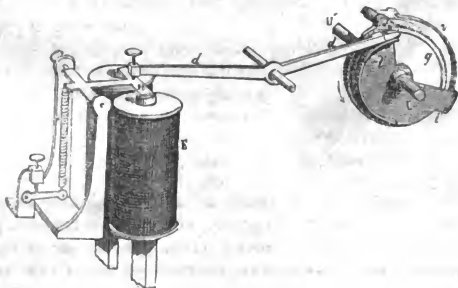



Fig. 710.

essendo più sostenuto, obbedisce alla pressione di una molla *v*, imbocca i denti della ruota *g*, e trascinato da questa muove il settore massiccio U' e l'albero U. A questo albero sono uniti gli

eccentrici *o* ed *i* (fig. 711), ed è fissato un dente acuto, che porta in sù la leva *tt'*, e quindi il cilindro *c*, sul quale trovasi la lista di carta: lo urta contro il dente più basso della ruota tipografica, e poi lo abbandona a sè. Ben tosto l'eccentrico *i* agisce sulla estremità della leva *bb'*, alla quale è fissa una lamina *y*, destinata a far girare il cilindro *c*, per mezzo di un meccanismo particolare, ed a portar innanzi la lista di carta, in modo che possa in seguitó ricevere la stampa di una nuova lettera.

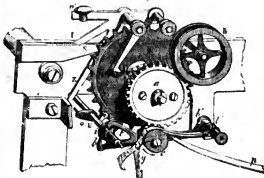



Fig. 711.

Vediamo ora quale sia il congegno che serve a chiudere il circuito, ossia a determinare il passaggio della corrente. Sul contorno del disco H sono praticati 28 fori, in ciascun dei quali passa un dente d'acciajo *o'*, *o''*, *o'''*.... (fig. 712), che può essere alzato; mediante una leva, quando si prema il tasto corrispondente nella tastiera dello strumento (fig. 709). Il dente che, venendo sollevato, emerge dal piano H (fig. 712), incontra una lamina d'acciajo *a'*, *a''*, portata dal pezzo *h* (che gira, come abbiam detto, coll'albero I), e messa in comunicazione metallica con questo albero medesimo. La corrente elettrica, che entra pel filo P, unito alla pila della stazione (ed escirà poi pel conduttore L), si reca alla tastiera, e lungo il dente, per esempio *o''*, spinto in su dal tasto F, passa nell'albero I, nel bottone T, nell'elettro-calamita E, e finalmente nel filo della linea L. Questo la conduce all'elettro-calamita della stazione, alla quale è diretto il dispaccio. Qui, ove trova un apparato identico, entra pel filo corrispondente ad L, circola nell'elettro-calamita, e va fuori dal bottone V; giacchè quando si tratta di ricevere un dispaccio, l'elettro-calamita, invece di comunicare col

Fig. 712.

bottone T, comunica coll'altro V. A questo modo il dispaccio si stampa nello stesso tempo ad ambedue le stazioni; e per ciò si può verificarlo costantemente, e mantenere un accordo perfetto tra i due apparecchi.

Ma domanderete adesso come avvenga che il dente più basso della ruota tipografica, all'istante in cui il cilindro *c* riceve l'impulso, sia proprio quello della lettera che si vuol stampare? Il circuito vien chiuso, non quando si batte il tasto, ma allora che la lamina a', a'' urta contro il dente portato in su dal tasto; epperò il movimento del pezzo *h* e quello della ruota tipografica *a* (fig. 709) sono regolati in modo che quando l'estremità a', che la lamina $a'a''$ porta innanzi, passa al dissopra di un foro qualunque del disco H, il dente della ruota tipografica che porta la lettera corrispondente si trovi esattamente al basso. Quindi, battendo il tasto F (fig. 709), si alza o'' che, come abbiam supposto, gli corrisponde, e l'asta $a'a''$ viene ad urtarvi contro, e per conseguenza il cilindro *c* è innalzato all'istante in cui la lettera F della ruota tipografica è al basso.

717. **Telegrafo elettro-chimico**. Un'altra foggia di telegrafo, di cui intendo parlarvi, è l'elettro-chimico, che Bain costrusse partendo da un principio diverso. Il congegno non è difficile ad essere inteso. Quando si vuol trasmettere un dispaccio, lo si scrive innanzi tutto in un foglio di carta, usando di un alfabeto analogo a quello di Morse: la carta però non deve solo essere premuta secondo i punti e le linee, ma anche traforata. Poscia, si mette questa carta fra un cilindro metallico, che comunica col polo positivo della pila, ed una lastra, parimenti di metallo, che si unisce al filo della linea. All'altra stazione havvi un piatto circolare di metallo, che ruota sopra sè stesso, mentre si congiunge coll'altro polo della pila. Sopra questo piatto è applicato un foglio di carta imbevuto di una dissoluzione di cianuro di potassio; e contro il foglio stesso è costantemente appoggiato uno stilo d'acciajo, a cui termina il filo della linea. Ora chicchessia indovina il meccanismo dell'apparato. Per riprodurre alla seconda stazione il dispaccio scritto alla prima, basta girare il cilindro sul quale è fissato. Tutte le parti della carta vengono così successivamente fra il cilindro e la lamina: se la lista di carta non fosse forata, non essendo essa conduttrice, la corrente rimarrebbe costantemente interrotta; ma, a favore dei fori che vi sono praticati, ogni qualvolta ne passa uno di essi, il cilindro viene a contatto della lamina, e la corrente nasce e continua per un tempo più o meno lungo, a seconda della grandezza del foro medesimo. Così, all'altra stazione, traversa la carta

umida, e decompone il sale: il cianogeno si porta sullo stilo, e, combinandosi col ferro, vi forma il bleu di Prussia, il quale segna sulla carta un punto se la corrente cessa subito, od una linea se dessa dura per un po' di tempo.

Telegrafi autografici. La scoperta dei telegrafi elettro-chimici condusse ad un'altra più brillante, cioè a quella dei telegrafi *autografici,* che riproducono il fac-simile d'una scrittura o d'un disegno qualunque fatto colla penna. Il primo telegrafo di questo genere è quello di Blackwell fabbricato nel 1849. Eccovi l'idea fondamentale di questo telegrafo. Imaginate, a ciascuna delle due stazioni, un cilindro rotante, sul quale appoggi uno stilo d'acciajo, che scorra in su ed in giù secondo i lati del cilindro. Di più: ammettete che i movimenti dei due stili concordino pienamente. Con ciò sarete già a buon partito per capire il congegno dell'invenzione. Il cilindro della stazione mittente è coperto da un foglio di stagno, sul quale con inchiostro isolante è scritto il dispaccio, mentre il cilindro della stazione opposta è rivestito di un foglio di carta, imbevuto di cianuro di potassio. La corrente va dalla pila della prima stazione al cilindro vicino; ove passa nello stilo soprapposto, se questo non corrisponde a parte alcuna segnata d'inchiostro; arriva allo stilo ed al cilindro dell'altra stazione, e da qui ritorna alla pila. Si capisce pertanto che a circuito chiuso il cianuro di potassio verrà decomposto, e diverrà violetto in tutti i punti toccati allora dallo stilo che gli corrisponde. Ma quando lo stilo della stazione mittente verrà a toccare una parte tinta d'inchiostro, la corrente, e per conseguenza anche la decomposizione chimica, alla stazione opposta sarà sospesa, sicchè la linea violetta qui tracciata dallo stilo riescirà interrotta da uno spazio bianco, lungo quanto il tratto d'inchiostro. Alla fin dei conti si otterrà un *fac simile* in punti bianchi sopra un fondo di tante lineette di color violacco.

Il signor Bonelli ebbe l'idea di applicare il principio del telegrafo elettro-chimico alla costruzione di un telegrafo, in cui i dispacci comparissero stampati, come in quelli di Hughes. Ecco quanto troviamo nell'annuario scientifico italiano, circa tale apparecchio. « Alla stazione di partenza il dispaccio viene composto con caratteri di stamperia, e messo sopra un telajo arcuato. Una punta metallica, fissa ad una ruota girante, passa ripetutamente sui caratteri, tracciandovi quattro linee parallele e vicinissime: ad ogni contatto coi caratteri di stamperia, la corrente passa nella linea. Alla stazione di arrivo v'è un apparecchio identico; solo che, invece dei caratteri, vi è disposta la carta preparata. La punta metallica, compiendo le stesse evoluzioni

che alla stazione di partenza, lascia una traccia bruna sulla carta, tutte le volte che la corrente passa; e questa traccia, evidentemente, è la riproduzione del contatto avvenuto all'altra stazione. L'insieme delle tracce riproduce la forma del carattere di stamperia, e quindi il dispaccio è riprodotto per intiero con una precisione ed una evidenza ammirabile. Il sincronismo dei movimenti, alle due stazioni, si ottiene come nel telegrafo d'Hughes, e la lamina vibrante è parimenti adottata per regolare la rotazione del trasmettitore e del ricevitore ».

Ma il più perfetto fra tutti i telegrafi autografici, e quello che destò maggior entusiasmo al momento della sua scoperta, è il pantelegrafo dell'abate Caselli. Quanto alla parte essenziale, assomiglia al telegrafo di Blackwell; ma al cilindro rotante è sostituita una mezza superficie cilindrica fissa, ed il piccolo stilo ha ambedue i movimenti necessarii perchè descriva tante linee parallele, molto vicine le une alle altre. Il congegno è sorprendente per la velocità e per la regolarità del movimento, e fa meraviglia anche la concordanza degli apparati alle due stazioni opposte. Basti sapere che il moto dello stilo nel verso trasversale della superficie cilindrica sottostante è prodotto da un pendolo di ferro, la cui lente oscilla fra due rocchetti elettro-magnetici, che sono alternativamente magnetizzati dalla corrente di una pila locale particolare. Si ottiene poi l'altro movimento, unendo il sostegno dello stilo ad una madrevite, la cui vite può girare per effetto di un congegno affatto simile a quello che serve per movere gli orologi; ma di fatto non gira che quando e come glielo permettono i denti di una forchetta mossa dal pendolo suddetto. L'invenzione del Caselli è meravigliosa: qualunque cifra, ogni disegno anche bizzarro si trasmette egualmente, ed una firma si riproduce con tutta l'esattezza di un copia lettere.

Officio della terra nella propagazione della corrente. Nelle descrizioni precedenti abbiam supposto tacitamente, che all'uso del telegrafo siano necessarii due fili; e di fatto da principio se ne adoperavano due; ma si è poi scoperto che basta un filo solo, mettendo in comunicazione conduttrice colla terra quel polo della pila e quella parte dell'apparato, che dovrebbero comunicare fra loro per mezzo dell'altro filo. La terra equivale sotto questo rispetto ad un buon reoforo, cioè produce il medesimo effetto. Generalmente però non si ammette che assomigli ad un reoforo anche nel modo di produrre questo effetto; ma si pensa che agendo essa quasi fosse un serbatojo di elettricità, assorba il fluido della parte positiva, e ristabilisca l'equilibrio nella parte negativa.

718. **Orologi elettrici**. Si trasse profitto dalle proprietà magnetiche della corrente elettrica anche per fabbricare gli orologi elettrici, i quali, posti pure a grandissime distanze, possono essere regolati da un orologio solo, e moversi concordemente con esso. La parte essenziale di un orologio elettrico è un'elettro-calamita B (fig, 713), la quale, al momento in cui viene attraversata dalla corrente, attira il pezzo di ferro dolce P, mobile sul pernio *a*. Questa spranga di ferro viene così a premere una leva *s*, che, per mezzo di un dente *n*, fa girare la ruota A. Da qui il movimento è trasmesso, mediante un rocchetto D, alla ruota C, che gira allo stesso modo, e per una serie di ruote e di rocchetti fa avanzare gli indici dell'orologio (fig. 714). Il tutto si riduce a far passare la corrente, ad inter-

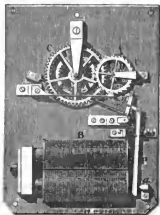



Fig. 713.

Fig. 714.

mittenze periodiche, nell'elettro-calamita B. A questo intento, si mette in comunicazione il filo conduttore col pendolo dell'orologio regolatore, e si dispongono le cose in modo che il pendolo stesso ad ogni oscillazione batta contro di un punto determinato, e chiuda per un momento solo il circuito. In ogni oscillazione del pendolo, la corrente passa una volta, ed una volta è interrotta, sicchè la spranga P percuote la leva *s* a ciascun secondo. Dopo ciò, chicchessia indovina il vantaggio che in pratica si può trarre da questi orologi. Volendo, per esempio, che tutti gli orologi pubblici di una città, o delle stazioni di una strada-ferrata, o degli Osservatorj astronomici di un regno, segnino esattamente la stessa ora, lo stesso secondo, basta che invece di un orologio ordinario, ne abbiano uno elettrico, e che tutti questi orologi

siano posti in comunicazione fra loro per mezzo di un filo che parte dal pendolo di un orologio regolatore.

719. Motori elettro-magnetici. L'elettro-calamite furono applicate anche a movere una macchina. Fra i molti congegni ideati a questo scopo, vòglio farvi conoscere quello di Forment. Esso risulta da quattro energiche elettro-calamite A, B, C, D (fig. 715), fissate sopra un sostegno di ghisa X. In mezzo a

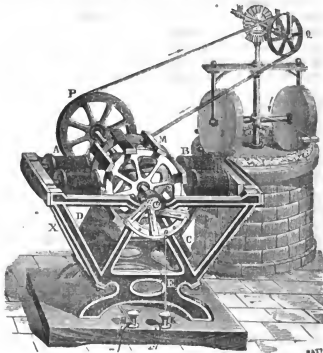



Fig. 715.

queste elettro-calamite può girare un sistema di due ruote di ghisa, che portano alla loro periferia otto spranghe M di ferro dolce. La corrente arriva in K, pel filo E sale nell'arco metallico O, e da qui passa nelle tre aste *e*, unite all'arco medesimo. Ognuna di queste aste porta, per mezzo di due piccole viti di avorio, una lamina d'acciajo *yz* (fig. 716), alla quale è fissata una carru-

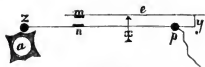



Fig. 716.

cola z. Le carrucole delle tre aste simili ad e appoggiano sul contorno della ruota a, dal quale emergono alcune prominenze. Quando una di tali prominenze passa sotto ad una carrucola, la preme, e spostando insieme la lamina d'acciajo, mette il punto n a contatto del bottone m; sicchè la corrente passa nell'asta yz, e ritorna alla pila pel filo H; ma viene tosto interrotta, allorchè cessa il contatto fra n ed m. Di più, è da sapersi che due delle tre lamine d'acciajo comunicano, ad una ad una, per mezzo di un filo attaccato al punto p, con una delle quattro elettro-calamite; e la terza si congiunge colle altre due. Per questa disposizione, le armature M sono successivamente attirate, e poscia abbandonate dalle quattro elettro-calamite, sicchè il sistema, dal quale sono sostenute, è obbligato a rotare intorno al proprio asse. Il movimento viene trasmesso, per mezzo di una ruota P e di una correggia continua, ad una carrucola Q, e da questa alla macchina. Anche il professore Magrini imaginò, non è molto, una bella macchina elettro-magnetica; ma i limiti che ci siamo imposti non ci permettono di farvi conoscere questo importante lavoro di un uomo che coltiva con tanto impegno le scienze naturali.

Altre applicazioni industriali dell'elettricità. Quanto vi ho detto finora può bastare a darvi un'idea delle utili applicazioni che si fecero dell'elettricità; ma s'ingannerebbe chi credesse che non ve ne siano altre. L'elettricità venne applicata, per esempio, a misurare la velocità dei projettili, a determinare con precisione l'istante in cui un astro passa dal meridiano di un luogo, a continuare regolarmente il movimento del pendolo, a segnare esattamente le variazioni barometriche, ad indicare la direzione del vento, ecc. Di queste cose potrò forse parlarvene in meteorologia. Si costrussero pure diversi termometri elettrici, i quali servissero specialmente a conservare costante la temperatura di una stanza, od a darne indizio quando mai oltrepassasse certi limiti, ecc. Il Bonelli, di cui già ne conoscete il telegrafo, fabbricò anche un telajo elettro-magnetico. Bellet e De Rouvre di Parigi, nell'anno scorso (1865), imaginarono una piccola locomotiva elettro-magnetica, simile, almeno nel concetto, al motore elettro-magnetico che vi ho descritto: verso la periferia delle ruote sono fissate le elettro-calamite, ognuna delle quali, al momento in cui trovasi a poca distanza dalla rotaja, è traversata dalla corrente di una pila posta sulla macchina; sicchè la ruota è successivamente attratta dalla guida, e sollecitata quindi a girare, scorrendo sopra di essa. Si è tentato eziandio di trar profitto da

questo principio per aumentare l'aderenza delle ruote nelle locomotive ordinarie, al momento in cui debbono salire lungo un pendío, ed i risultati delle ultime esperienze corrisposero alle speranze. Achard si giovò dell'elettro-calamite nell'invenzione di un freno per le locomotive, cioè di un apparecchio destinato a fermare con gran prestezza queste macchine, quando il bisogno lo richiegga.

Nuovo metodo di preparare le elettro-calamite. Fino al 1864 i dotti ammisero, senza discussione, che al buon effettò dell'elettro-calamita, il filo doveva essere coperto di materia isolante. Ma a quest'epoca il signor Carlier, meccanico francese, trovò argomenti per sospettare della necessità di quella condizione, e costrusse elettro-calamite a filo scoperto (*Comp. Rend.* 1865, 9 gennajo), nelle quali sono semplicemente separati i diversi strati di spire, con un foglio di carta. Gli effetti di queste elettro-calamite sono eguali, e qualche volta maggiori di quelli delle elettro-calamite a filo isolato. Du-Moncel ha constatato che la maggiore o minore energia delle elettro-calamite non dipende dall'essere il filo isolato o no, ma dalla conducibilità del filo stesso.

720. **Azione del magnetismo sulla materia ponderabile.** Finora abbiam parlato solamente delle azioni che le correnti esercitano sul ferro e sull'acciajo; ma questa medesima scoperta condusse ad un'altra più generale. Avuto il mezzo di ottenere calamite di forza enorme, si conobbe tosto che il numero delle sostanze magnetiche era molto maggiore di quello che si poteva credere. Ma il mirabile fu lo scoprire che molte sostanze, invece di essere attratte da questi gagliardi magneti, venivano da essi respinte. Faraday appellò in generale *corpi magnetici* quelli che sono influenzati dal magnetismo, *paramagnetici* quelli che sono attratti dalle calamite, e *diamagnetici* gli altri che vengono dalle medesime respinti.

Ruhmkorff costrusse un apparato molto semplice, per mezzo del quale si possono facilmente constatare le azioni del magnetismo sui diversi corpi. Desso è composto di due potentissime elettro-calamite M ed N (fig. 717), fisse a due rettangoli O ed O′, i quali possono essere avvicinati più o meno, quando si facciano scorrere sul sostegno K. La corrente di una pila, formata da 10 coppie di Bunsen, entra in A, arriva al commutatore H, traversa i due rocchetti M ed N, e pel filo *i* ritorna al commutatore, ed esce lungo B. I due cilindri di ferro S e Q, posti nel mezzo dei rocchetti, sono forati nel verso dell'asse; alle loro estremità esterne si possono avvitare due prismi di Nicol *a, b;* ed alle

estremità interne si possono adattare le armature mobili S e

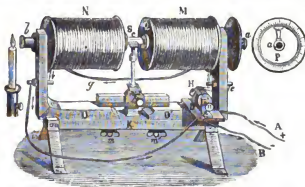



Fig. 717.

Q, rappresentate dalle figure 718, 719 e 720. Faraday, usando di questo strumento, ha trovato che vi sono corpi paramagnetici e diamagnetici tanto fra i solidi come fra i liquidi e gli aeriformi. Per formarci un'idea delle curiose esperienze fatte da questo dotto, per esplorare il diamagnetismo dei solidi, imaginiamo che alle estremità interne delle due elettro-calamite siano applicate le due armature rappresentate dalla figura 718, ed

Fig. 720. Fig. 718. Fig. 719.

in mezzo a loro sia sospeso un pezzetto prismatico *m* di una sostanza magnetica. Se l'intervallo che separa gli estremi delle due armature è minore del diametro del prisma *m*, e questo trovasi ad una piccola distanza da quelli, al passaggio della corrente è attratto quando sia di sostanza paramagnetica, e ripulso se invece è diamagnetico. All'esperimento si può dare anche un'altra forma. Si allontanino i due rocchetti, sicchè la distanza delle loro estremità interne sia più grande che non il diametro del corpo *m;* e poscia si chiuda il circuito della pila. Il corpo

cimentato sarà paramagnetico, allorchè si disponga in modo che la sua maggior dimensione riesca nella linea dei poli delle due elettro-calamite, appellata *linea assiale;* e sarà diamagnetico se in quella vece si dirige colla sua maggior dimensione trasversalmente alla linea suddetta, ossia secondo la linea perpendicolare a quella, e distinta col nome di *linea equatoriale.*

Faraday dalle sue osservazioni dedusse che fra i metalli sono paramagnetici il ferro, il niccolo, il cobalto, il manganese, il cromo, il cerio, il titanio, il palladio, il platino e l'osmio; e diamagnetici il bismuto, l'antimonio, lo zinco, lo stagno, il cadmio, il sodio, il mercurio, il piombo, l'argento, il rame, l'oro, l'arsenico, l'uranio, il rodio, l'iridio ed il tungsteno. In ambedue queste serie i metalli sono ordinati in modo che ognuno di essi è influenzato dalla calamita più fortemente di quelli che lo seguono. Verdet avrebbe trovato in seguito che l'uranio deve passare dalla lista dei metalli diamagnetici a quella dei paramagnetici; alla prima lista avrebbe aggiunto il lantano ed il molibdeno, ed alla seconda il litio ed il glucinio.

Per studiare il magnetismo dei liquidi, se ne versa una piccola quantità in un vetro d'orologio, che si colloca sopra le opportune armature S e Q (fig. 719) delle due elettro-calamite. Durante il passaggio della corrente, il liquido non ubbidisce alle sole leggi idrostatiche: se è paramagnetico si accumula verso i poli dell'elettro-calamite, e forma uno (A) o due (B) rigonfiamenti, a seconda della distanza dei rocchetti; ed invece la superficie di un liquido diamagnetico è depressa nelle parti corrispondenti agli spigoli polari, e sollevata nelle parti intermedie. Con questo processo, si è trovato che le soluzioni acquose, nitriche e solforiche di molti sali di ferro, di niccolo, e di altri metalli paramagnetici, e specialmente le soluzioni di protocloruro di ferro sono paramagnetiche; mentre l'acqua, l'alcool, l'etere, l'acido solforico, l'acido nitrico, il solfuro di carbonio, ecc., sono diamagnetici.

Quanto ai gas, Bancalari osservò che la fiamma di una candela collocata fra le due calamite dell'apparato di Ruhmkorff, viene respinta (fig. 720), s'allunga orizzontalmente nella direzione della linea equatoriale, e si mantiene in questa posizione finchè la corrente continua a passare. Tutte le fiamme offrono lo stesso fenomeno; ma in una fiamma d'idrogeno la cosa è appena sensibile, ed invece è notevolissima nelle fiamme dei corpi resinosi. L'ossigeno, l'aria, l'azoto sono paramagnetici; invece l'idrogeno, il gas ammoniaco, il cianogeno sono diamagnetici. Ma, specialmente nello studio del magnetismo dei gas, non bisogna perdere

di vista che l'azione attrattiva o ripulsiva esercitata da una calamita su di un corpo immerso in un fluido, è eguale all'effetto che mostrerebbe il corpo nel vuoto, diminuito dell'effetto prodotto sul volume del fluido spostato dal corpo. Quindi si capisce che un corpo debolmente magnetico in un mezzo potrà apparire diamagnetico, e nel vuoto mostrarsi paramagnetico; così il nitrogeno circondato dall'aria si mostra diamagnetico, e nel vuoto od in un'atmosfera d'idrogeno è paramagnetico.

Per spiegare il diamagnetismo dei corpi, Becquerel e qualche altro dotto partono dal principio precedente dell'influenza del mezzo sugli effetti di attrazione o ripulsione, e pensano che come i corpi meno densi del fluido in cui si trovano immersi, invece di cadere verso il centro della terra, se ne allontanano, salendo, così i corpi meno magnetici del mezzo da cui sono circondati, invece di essere attratti dalle calamite, sarebbero ripulsi. Ma, come osserva il Matteucci, i movimenti dei corpi diamagnetici in presenza delle calamite avvengono anche nel vuoto. Faraday suppone che, mentre nelle sostanze *paramagnetiche,* all'avvicinarsi delle calamite, si svegliano correnti orientate in modo che riescono di fronte i poli contrari, nelle sostanze *diamagnetiche* invece queste correnti siano dirette in verso contrario, sicchè risultino vicini i poli dello stesso nome, e perciò vi sia ripulsione. L'ipotesi di Faraday doveva forse essere rigettata finchè le esperienze negavano la polarità nei corpi diamagnetici; ma ora, avendo Tyndall constatata anche questa cosa, le idee di Faraday possono essere accolte come molto probabili. De-la-Rive tenta con molta sagacia di spiegare perchè le correnti che nascono nei corpi paramagnetici abbiano una direzione contraria a quella delle altre che si concepiscono nei diamagnetici.

Effetti ottici delle potenti calamite. Conchiuderò questo articolo coll'esposizione di due fatti, che sono di altro genere, ma per altro dimostrano pure l'azione generale del magnetismo o delle correnti elettriche che, secondo le idee d'Ampère, costituiscono il magnetismo. Il primo fenomeno che desidero di farvi conoscere è questo. Se, levate le armature alle estremità interne delle due calamite dell'apparato di Ruhmkorff, si adattano i due prismi di Nicol *a* e *b* sulle estremità esterne, in modo che le loro sezioni principali siano rispettivamente perpendicolari, e poscia si colloca in *c,* sull'asse dei due rocchetti, una piastra di flint o di vetro a faccia parallela, si trova che là luce trasmessa da un prisma ed estinta dall'altro (483), ricompare quando i rocchetti vengono traversati dalla corrente. Ed il bello è che questa luce si mostra colorata; e girando l'analizzatore *a* a destra od a si-

nistra, secondo la direzione della corrente, la luce assume successivamente le differenti tinte dello spettro, come avviene colle piastre di quarzo tagliate perpendicolarmente all'asse (487 e 488). Becquerel ha trovato che molte sostanze solide e liquide possono in tal modo far rotare il piano di polarizzazione sotto l'influenza di potenti calamite. La legge del fenomeno è semplicissima: *il piano di polarizzazione è deviato nel senso stesso in cui circola la corrente elettrica*. Il Wartman ha annunziato d'aver ottenuto sopra un raggio calorifico gli stessi effetti che abbiamo descritti pel raggio luminoso. Faraday ammette che il fenomeno sia l'effetto di un'azione delle calamite sui raggi luminosi. Ma, come osserva l'illustre Matteucci, sembra invece evidente che l'azione sia sul corpo diafano, sottomesso all'influenza delle calamite; giacchè senza di questo corpo il fenomeno non si manifesta. Potrà dirsi (continua il Matteucci) che l'azione in discorso è sul raggio luminoso, in quantochè la calamita, modificando la disposizione molecolare del corpo e dell'etere nel corpo stesso, modifica il movimento vibratorio propagato nell'etere; ma non in altro senso.

Detuonazione prodotta nell'interrompere la corrente sottomessa all'influenza di una forte elettro-calamita. L'altro fatto che sto per accennarvi è semplicissimo ma non meno curioso. Quando si chiude il circuito dell'elettro-calamite M ed N (fig. 717) fra i due poli S e Q, non si produce nè scintilla nè rumore, o per lo meno tutto in piccole proporzioni. Ma se mai apresi il circuito nel luogo stesso, si ode una violenta detuonazione, simile a quella di un colpo di pistola.

ARTICOLO QUINTO

AZIONI DELLE CORRENTI SUI CONDUTTORI METALLICI.

721. **Induzione elettro-dinamica**. Quando una corrente elettrica principia, e presso al suo reoforo si trova un circuito metallico, si sveglia in questo conduttore una nuova corrente trasmessa in senso contrario della prima, o come si dice *inversa*, la quale tosto si estingue. Lo stesso fenomeno appare all'istante in cui una corrente elettrica finisce; ma allora la corrente momentanea, che nasce nel conduttore vicino, si propaga nel medesimo senso della prima, ossia è *diretta*. Un modo facile per constatare questo mirabile effetto dell'elettricità dinamica, è quello di avvolgere sopra un *rocchetto* (fig. 721), cioè sopra un cilindro di cartone o di legno, due fili di rame coperti di seta, dei quali

l' uno sia più sottile dell' altro; e poscia congiungere i due estremi *a* e *b* del conduttore più sottile coi due capi del filo d'un galvanometro, e mettere in comunicazione coi poli d'una pila le estremità *c* e *d* dell'altro conduttore. Tostochè sarà chiuso il circuito della pila, l'ago del galvanometro verrà deviato da una corrente diretta in verso opposto a quello della corrente della pila medesima. Ma poi tornerà alla posizione primitiva, e ivi si manterrà finchè non si distacchi dalla pila l'uno o l'altro dei due capi *c*, *d*: allora l'ago devierà nuovamente, ma dalla parte opposta. Faraday, che scoprì questo fenomeno (nel 1831), lo chiamò *induzione:* appellò indotte le correnti suscitate da un'altra nei conduttori, e disse questa *inducente.*

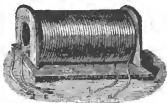



Fig 721.

Dopo una sì bella scoperta, si trovò ben presto che per ottenere l'induzione basta avvicinare con prontezza, od allontanare la corrente dal filo conduttore, oppure variarne l'intensità. Quando la corrente cresce di energia, o si avvicina al circuito metallico, nasce in questo una corrente indotta *inversa* alla prima; ma se per avere il fenomeno, s'indebolisce l'intensità della corrente, o la si allontana dal circuito metallico, la corrente indotta riesce *diretta* rispetto alla *inducente.*

Le correnti indotte si possono svegliare anche per mezzo delle calamite. Se in un rocchetto cavo, intorno al quale sia avvolto un filo di rame coperto di seta (fig. 722), ché termini ai capi d'un galvanometro, s'introduce un polo di una calamita, diritta e alquanto lunga, l'ago dell' apparato dà subito indizio di una corrente momentanea. Parimenti, allontanando il polo della calamita dal rocchetto, il galvanometro annunzia un'altra corrente, pure momentanea; e questa seconda è diretta nel verso contrario a quella della prima. L'altro polo della calamita dà effetti somiglianti, se non che ognuna delle due correnti riesce diretta all'opposto di quella che era nell'esperienza antecedente. I fenomeni, com'è naturale, si ripetono colle medesime circostanze, se invece di una calamita si fa uso di un solenoide.

Fig. 722.

La terra, avendo tutti i caratteri magnetici di una calamita, o meglio di un solenoide, nel quale le correnti si propagano dall'est all'ovest, induce correnti analoghe nei conduttori che scorrono

sopra della superficie di essa in direzione perpendicolare, od anche obliqua al meridiano magnetico. Per mettere in evidenza questa cosa, si adopera il cerchio di Delezenne, cioè un anello elittico MN (fig. 723) in legno, di metri 1,5 per 0,8, intorno al quale è avvolto, per circa 200 giri tra loro isolati, un filo di rame grosso millimetri 1,5. I capi di questo filo si uniscono a quelli di un galvanometro. Quando si fa rotare rapidamente l'anello MN intorno all'asse maggiore, situato in modo da riescire perpendicolare alla direzione dell'ago d'inclinazione, il galvanometro indica una corrente indotta nel filo che circonda il cerchio. Questa corrente ora è inversa ed ora è diretta; epperò volendo avere una corrente, o meglio una serie di correnti dirette in un senso unico, si congiungono i capi del conduttore ad un piccolo congegno, denominato il *commutatore*, che serve appunto a dirigere le correnti stesse sempre in un medesimo verso lungo il reoforo seguente. Se l'asse di rotazione dell'anello trovasi parallelo all'ago d'inclinazione, l'induzione cessa.

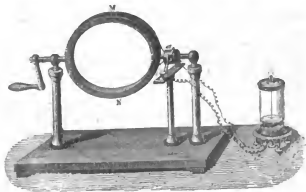



Fig. 723.

Legge di Lenz. Lenz ha riassunto in una legge, conosciuta sotto il di lui nome, i fenomeni d'induzione che si manifestano in un circuito metallico, mentre cambia distanza da una corrente o da una calamita. La legge di Lenz è questa: ***quando si sposta rapidamente una corrente od una calamita, in vicinanza di un circuito chiuso, apparisce in quest'ultimo una corrente indotta diretta in un verso tale, che agendo, secondo le leggi dell'elettrodinamica*** (cap. 3.°, art. 2.°), ***sulla corrente induttrice e sulla calamita, le comunicherebbe un movimento opposto a quello che possiede mentre produce l'induzione.***

722. Induzione prodotta dalle calamite nei corpi in movimento. Nel 1825 Arago scoprì un fatto sorprendente, ed è questo. Un ago di declinazione *ab* (fig. 724) devia dal meridiano magnetico, quando sia posto vicino ad un disco metallico orizzontale, che ruoti attorno dell'asse di sospensione dell'ago medesimo. Lo spostamento cresce colla velocità di rotazione del disco; e ciò che fa meraviglia si è che alla fin dei conti l'ago arriva a rotare sul proprio perno, a seconda del movimento del disco, benchè si trovi da esso separato con una lastra di vetro. L'esperienza riesce meglio se il disco è fabbricato con un metallo buonissimo conduttore (argento o rame); l'effetto diminuisce evidentemente, quando si adopera un disco tagliato a seconda dei raggi; e cessa usando un disco di sostanza che conduca per poco o per nulla l'elettricità. Tale fenomeno, impropriamente denominato *magnetismo di rotazione*, venne felicemente spiegato da Faraday col principio dell'induzione. Quando il disco gira, nelle parti di esso che passano sotto la punta del nord si concepiscono correnti indotte, ed altre si svegliano in quelle che passano sotto alla punta del sud. Faraday, Nobili ed Antinori idearono diverse esperienze per conoscere la direzione di queste correnti; ma chi ne tracciò il cammino, con rara sagacia, fu il senatore Matteucci. Figuratevi che i punti N ed S (fig. 725) siano le projezioni dei poli della calamita sul disco

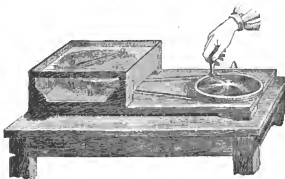
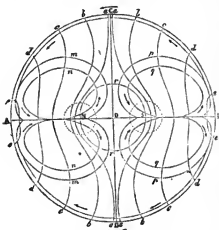



Fig. 724.

Fig. 725.

rotante, ed AB sia il diametro di questo disco che passa pei medesimi punti. L'illustre esperimentatore pervenne alle seguenti conclusioni. 1.° Nel disco rotante vi sono *linee di nessuna corrente* (*a, b, c, d, e*), perpendicolari al diametro AB, le quali, presso i lembi del disco, si piegano in modo da riescire normali anche a questi. 2.° La projezione di ciascun polo sul disco è un *punto neutro,* vale a dire di nessuna corrente. Fra questi due punti neutri passa una linea *r*S*r*N dello stesso genere, e sensibilmente circolare. 3.° *Le linee di correnti elettriche*, o quelle secondo le quali l'ago del galvanometro viene deviato per la massima quantità, rappresentate in *m, n, p, q,* s'incrocicchiano sempre normalmente colle linee di nessuna corrente, e sono tangenti alla retta AB. 4.° La posizione della linea neutra *r*S*r*N non cambia sensibilmente variando la natura o lo spessore del disco, nè accrescendo o diminuendo la forza della calamita; però si restringe coll'aumentare della velocità impressa al disco rotante. Da questa scoperta, fatta dal celebre professore italiano, apparisce che le correnti concepite dal disco, in quelle parti che passano sotto all'una od all'altra delle due punte della calamita, sono correnti dirette nel medesimo verso, epperò si rinforzano. Il verso comune di tali correnti è precisamente quello della lunghezza dell'ago, e per conseguenza lo fanno deviare. Ma perchè nelle nuove posizioni che esso va prendendo si ripete il medesimo fenomeno, così avviene che quando il disco gira con bastante celerità, l'ago è finalmente trascinato a girare insieme.

Origine delle correnti terrestri. Ora siamo in grado di conoscere le ipotesi che si fanno per spiegare l'origine delle correnti terrestri (712). Da principio si ammise che queste correnti nascessero dalle azioni chimiche che debbono avvenire nell'interno del globo. Poscia si pensò che esse fossero termoelettriche, cioè prodotte o dal calorico interno del globo terrestre, o meglio dal sole che scalda inegualmente la superficie della terra. Il P. Secchi attribuisce le correnti terrestri ad un'induzione magnetica prodotta dal sole nella terra in movimento. Il Palmieri suppone che non esistano vere correnti terrestri, e gli effetti loro attribuiti dipendano dall'elettricità atmosferica, che abbiam visto produrre le variazioni irregolari dell'ago magnetico (707). Ma quest'ultima ipotesi pare in opposizione coi risultati delle esperienze del signor Matteucci (712). Del resto, la questione circa l'origine delle correnti terrestri non è ancora risolta.

723. **Leggi delle correnti indotte.** Anche nello studiare le proprietà delle correnti indotte, non bisogna mai perdere di vista la differenza della *quantità* dalla *tensione* della corrente. Le correnti indotte hanno diversa durata, e superano in tensione

la corrente induttrice, ma sono ad essa inferiori per la quantità. Parimenti le due correnti indotte hanno d'ordinario diversa durata e diversa tensione; fanno però deviare per uno stesso numero di gradi l'ago del galvanometro, ossia contengono eguale quantità di elettrico, e perciò la tensione loro è in ragione inversa della durata; la corrente diretta è generalmente più breve, e per conseguenza più forte. L'intensità d'ambedue le correnti, misurata dall'effetto prodotto sul galvanometro, è sottomessa alle seguenti leggi, che sono il risultato delle numerose esperienze fatte in questo genere di cose da Faraday, Lenz, Abria, Weber, Matteucci e Felici. 1.° L'intensità delle correnti indotte è proporzionale all'intensità della corrente induttrice. 2.° La stessa intensità varia in ragione inversa della semplice distanza del circuito indotto dall'induttore. 3.° Quando la resistenza totale del circuito indotto è costante, l'intensità delle correnti indotte è proporzionale al prodotto delle lunghezze delle parti attive dei circuiti induttori ed indotti. 4.° L'intensità delle correnti indotte varia in ragione inversa della resistenza totale del circuito indotto, ossia è proporzionale alla conducibilità ed alla sezione di questo filo, e sta in ragione inversa della lunghezza totale di esso. 5.° L'energia delle correnti in discorso è indipendente dalla natura dei circuiti induttori ed indotti, e del mezzo isolante fra loro interposto; ed anche dalla sezione e dalla forma del circuito induttore. 6.° Allorchè l'induzione è prodotta simultaneamente da parecchi fili, le intensità delle correnti indotte sono d'ordinario eguali alla somma od alla differenza delle correnti che ciascun filo produrrebbe agendo da solo, a seconda che queste correnti sono concordi o contrarie. 7.° Finalmente, se i due fili (induttore e indotto), coperti di seta, e posti in vicinanza, vengono piegati a spira, qualora il diametro della spira medesima sia abbastanza grande, l'intensità delle correnti indotte è press'a poco proporzionale al numero dei giri.

Induzione prodotta dalle correnti indotte. Una corrente indotta può svegliarne un'altra in un circuito metallico chiuso che gli stia dappresso; e questa, alla sua volta, può suscitarne una terza, e così via discorrendo. Henry, che scoperse (nel 1841) questo fenomeno, appellò la prima corrente induttrice *corrente di primo ordine,* la seconda di *secondo ordine,* o *corrente indotta primaria*, e così di seguito di *terzo ordine,* o *corrente indotta secondaria, di quarto ordine,* ecc. È degno di considerazione che le correnti indotte di diverso ordine magnetizzano un ago d'acciajo, come se fossero alternativamente dirette in verso contrario.

Le correnti indotte d'ordine superiore alla corrente primaria producono una deviazione insensibile nell'ago del galvanometro, mentre producono effetti fisiologici molto energici, e magnetizzano fortemente gli aghi d'acciajo.

724. **Induzione di una corrente sopra sè stessa.** Quando si chiude o si apre il circuito di una pila composta di non molte coppie, se l'arco interpolare oppone poca resistenza, si ottiene una scintilla appena sensibile, la quale peraltro è più viva nel primo che nel secondo caso. Ma quando l'arco interpolare è in quella vece formato da un filo molto lungo, e specialmente se questo filo è piegato in forma di elica, la scintilla è debolissima al chiudersi del circuito, ed è al contrario molto più lunga e più brillante quella che si ottiene nell'aprire il circuito medesimo. Faraday spiegò questo fenomeno provando che nella spira conduttrice della corrente che parte dalla pila si concepiscono due correnti indotte: l'una, *inversa*, all'atto di chiudere il circuito, e l'altra, *diretta*, nel momento d'aprirlo. La prima di queste correnti, essendo contraria alla induttrice, ne diminuisce l'effetto; ma la seconda, che va nello stesso verso, ne aumenta l'intensità, e più ancora la tensione.

Queste correnti, indotte da una corrente elettrica nel suo conduttore medesimo, all'istante in cui principia o finisce, sono di brevissima durata, e furono appellate da Faraday *estracorrenti*. La prima chiamasi *estracorrente di chiusura*, o *estracorrente inversa;* e la seconda *estracorrente d'apertura*, o *diretta*. Anche queste due correnti indotte contengono eguali *quantità* di elettrico; ma differiscono nelle *tensioni*, giacchè si producono in tempi differenti: nella corrente diretta la tensione è maggiore. Perciò, la corrente di una sola coppia di Bunsen, dalla quale non si ha commozione sensibile al chiudere del circuito, ne produce una molto energica nell'apertura del circuito medesimo, quando l'arco interpolare sia formato da una spirale cilindrica a molti e fitti giri. L'effetto viene accresciuto se nell'interno dell'elica s'introduce una verga di ferro dolce, la quale, al momento in cui si rompe il circuito, magnetizzandosi, sveglia nell'elica stessa una corrente diretta che s'aggiunge all'estracorrente.

Le estracorrenti obbediscono alle leggi delle altre correnti indotte.

725. **Macchine magneto-elettriche.** Dopo tali scoperte, era naturale che l'ingegno umano tentasse la via di ottenere un mezzo per produrre facilmente correnti indotte di molta forza, onde trarne profitto nell'industria. L'esito corrispose alle speranze, e si denominarono *macchine magneto-elettriche* gli stru-

menti ideati a questo fine. Pixii fu il primo a fabbricare (nel 1832) una macchina di questo genere. La parte principale di questo apparato è composta da due pezzi di ferro dolce, introdotti in due rocchetti, e da una calamita a ferro di cavallo, situata al dissotto di quelli. Per mezzo di due ruote e d'una manovella, si può far girare più o meno rapidamente questa calamita, intorno all'asse, dal quale è sorretta. Già s'intende che i poli di essa, sfregando così il ferro dolce dei rocchetti, lo debbono magnetizzare alternativamente in senso contrario. Perciò, debbono ogni volta concepirsi due correnti indotte nel filo dei rocchetti, le quali arrivano ad un commutatore, e di qui passano ai due fili estremi. Le correnti indotte sono alternativamente di verso contrario, ma, per effetto del commutatore, riescono sempre dirette allo stesso modo nei due fili che partono dal commutatore.

Apparecchio di Clarke. Un'altra macchina dello stesso genere, che alla fin dei conti non è che una modificazione di quella di Pixii, venne fabbricata da Clarke. Dessa è composta di una potentissima calamita A (fig. 726) a ferro di cavallo, sostenuta

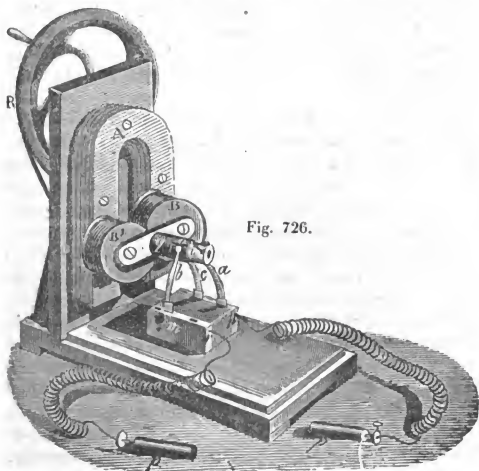



Fig. 726.

verticalmente da una tavola di legno e di due rocchetti BB′, mobili intorno ad un asse orizzontale. Questi rocchetti contengono due cilindri di ferro dolce, riuniti per una estremità ad

una grossa lamina parimenti di ferro dolce, e all'altra da una lamina di ottone. La prima lamina è fissata ad un asse di rame che porta un commutatore *iq;* e la seconda è sostenuta da un altro asse, il quale traversa la tavola di legno e finisce in una puleggia. Una corda senza fine abbraccia questa puleggia e la ruota R; sicchè, facendo girare questa ruota, si move la puleggia, ed il sistema dei due rocchetti BB′. Così il ferro dolce in essi contenuto si magnetizza alternativamente in verso contrario, sotto l'influenza dei poli della calamita, ed in ciascun filo si sveglia una corrente indotta, che cangia direzione ad ogni mezzo giro. Per intendere il cammino delle correnti indotte, non bisogna dimenticare che i fili dei due rocchetti sono ravvolti in senso contrario intorno ad essi, fino a 1500 volte, e si congiungono per un'estremità sull'asse di rame dell'armatura; e coll'altra terminano ambedue ad una viera di rame *q,* fissa all'asse, ma da esso isolata con un inviluppo cilindrico d'avorio. L'uno dei rocchetti riesce *dextrorsum,* mentre l'altro è *sinistrorsum,* e nelle estremità unite assieme la corrente indotta cammina in senso eguale. Per conseguenza, in una semi-rivoluzione, inferiore o superiore, le correnti sono di egual senso nei due rocchetti: nel periodo successivo cangiano direzione, ma lo fanno ambedue, sicchè l'una si trova costantemente diretta nel modo dell'altra.

Onde poi le correnti alternative siano in fin dei conti dirette in un senso costante all'uscita dell'apparato, si adopera ancora qui il *commutatore.* La parte principale di un simile strumento è un cilindro *i* isolante, d'avorio o di bosso, infilato, come abbiam detto, nell'asse di rame dell'armatura dei due rocchetti BB′. Nella superficie di questo cilindro isolante sono fissate due lamine metalliche, delle quali la prima *o* comunica colla viera *q* di rame, dove finiscono per una estremità i fili dei due rocchetti; e la seconda, posta dirimpetto a quella, non comunica con essa, ma si congiunge all'asse interno di rame, unito alle altre estremità dei due fili dei rocchetti. Per questa disposizione, le due piccole lamine metalliche del cilindro orizzontale riescono i poli delle correnti alternative che si sviluppano nei rocchetti, sicchè esse sono alternativamente positive e negative. Ma ognuna di queste due lamine, nella rotazione del cilindro, passa alternativamente dal contatto dell'asta *b* al contatto dell'asta *c.* Quindi se, per esempio, supponiamo che la lamina *o* sia positiva all'istante in cui tocca l'asta *b,* questa diverrà parimenti positiva, mentre l'asta *c,* allora in contatto della seconda lamina opposta, sarà negativa. Dopo una semi-rivoluzione del

cilindro sarà avvenuto lo scambio delle due correnti: la lamina *o* si mostrerà negativa, e l'altra rappresenterà la parte positiva; ma nel tempo stesso la lamina *o* arriverà al contatto dell'asta *c*, e l'altra toccherà l'asta *b*; sicchè questa *b* sarà nuovamente positiva, e quella *c* ancora negativa. Le due aste metalliche *b* e *c* appoggiano sopra due lamine di ottone *m* ed *n*, che si debbono porre in comunicazione fra loro onde chiudere il circuito. Quando sia adempita questa condizione, e si faccia rotare rapidamente la ruota R, le correnti indotte nei fili dei due rocchetti formeranno una serie di correnti, che nel circuito esterno cammineranno costantemente in una direzione unica, e nel caso supposto discenderanno da *b* e saliranno per *c*.

726. **Apparato elettro-magnetico di Duchenne.** Si trasse profitto del principio che guidò all'invenzione degli apparati descritti, per costrurne altri, che servissero specialmente agli usi terapeutici, e nei quali si potesse variare ad arbitrio l'intensità della corrente. Il dottor Duchenne dispose le cose nel modo seguente. Davanti ai due rami di una calamita KK (fig. 727),

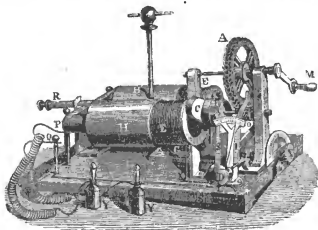



Fig. 727.

havvi un'armatura C di ferro dolce, che può essere mossa intorno ad un asse orizzontale, per mezzo di una ruota A. Su questi due rami della calamita è ravvolto un filo di rame, destinato a ricevere l'induzione; ed al dissopra di esso ne gira un altro, che deve essere il veicolo della corrente di secondo ordine. Quando si mette in movimento l'apparato, il pezzo C si magnetizza successivamente in senso opposto, passando per gradi dal-

l'uno all'altro stato, sicchè reagisce con diversa energia sul magnetismo della calamita, ossia fa variare l'intensità magnetica della calamita. Ciò basta, come sapete, perchè nel primo filo si concepisca una corrente di primo ordine, e questa ne sviluppi, all'istante medesimo, un'altra di secondo ordine nel filo esterno EE. I quattro capi dei due fili terminano a quattro bottoni, due dei quali, P e Q, sono posti da un lato dell'asta R, e gli altri si trovano situati nel lato opposto, simmetricamente ai primi; sicchè i due eccitatori YY possono essere applicati a questi od a quelli, e quindi condurre la corrente di primo ordine piuttosto che quella di secondo ordine. Perchè la corrente indotta riesca alla fine diretta costantemente in un medesimo verso, lo strumento è fornito anche di un commutatore B, analogo a quello di Clarke. E per regolare l'intensità della corrente medesima, il congegno è fatto in modo che, per mezzo di un bottone a vite N, si può variare la distanza del pezzo C dalla calamita; e di più, i rocchetti sono posti in due cilindri di rame HH, i quali possono scorrere sopra di essi e scoprirne una porzione più o meno grande. Per effetto delle correnti d'induzione che si svegliano nella massa dei cilindri, l'intensità della corrente finale è minima se i rocchetti sono interamente coperti, e massima quando sono scoperti per tutta la loro lunghezza.

Lo stesso dotto adopera al medesimo scopo anche un apparato diverso da quello che vi ho descritto, e conosciuto sotto il nome di apparato *elettro-voltiano di Duchenne*. Eccovene in breve la descrizione. È un rocchetto, chiuso in un tubo V (fig. 728),

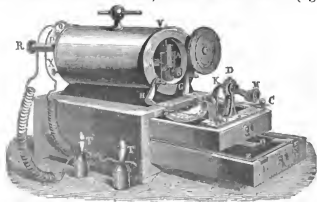



Fig. 728.

e fisso sopra una scatola di legno, ove in un cassetto superiore trovasi una piccola bussola, che serve a misurare l'intensità della

corrente, e nel cassetto inferiore è collocata la coppia di una pila idroelettrica a zinco e carbone. La lamina L si congiunge collo zinco e rappresenta il polo negativo; e la lamina N comunica col carbone, ed è il polo positivo. Quando i cassetti sono chiusi, queste due lamine riescono a contatto colle estremità inferiori dei bottoni di rame E e C. L'elettricità viene da qui condotta al pezzo G, ed alla parte metallica che sta sotto al prisma H. Il pezzo G si congiunge con una lamina A di ferro dolce, la quale è fissata a piccola distanza dall'estremità di un cilindro parimenti di ferro dolce, posto nel rocchetto, e tocca ordinariamente un capo del filo avvolto sul rocchetto medesimo. L'altro capo di questo filo termina nel prisma H, il quale è distaccato dalla lamina inferiore, come appare nella figura; ma può essere abbassato fino ad essa. Allora riesce chiuso il circuito, la corrente attraversa il rocchetto, e ne induce un' altra in un secondo filo, isolato dal primo, e ripiegato sopra di esso, le cui estremità si uniscono ai due bottoni P e Q, ed agli eccitatori TT. Nell' atto stesso però la corrente magnetizza il pezzo di ferro dolce del rocchetto, sicchè la lamina A viene qui attratta, e per conseguenza allontanata dal filo conduttore. La corrente è perciò interrotta; ma la lamina A, abbandonata dal ferro che ha perduto il magnetismo, chiude di nuovo il circuito, ed allora il fenomeno si ripete. Pel buon effetto di questo congegno, la corrente induttrice principia e finisce successivamente con gran rapidità, e sviluppa per conseguenza una serie di correnti indotte. Ma il cammino della corrente può essere anche cambiato ad arbitrio dell'esperimentatore. Qualora si desiderasse che le successive correnti indotte fossero separate da più lunghi intervalli di tempo, per mezzo di una piccola asta *a* s'impedisce l'oscillazione della lamina A, e si fa passare la corrente nella lamina elastica K, e nei quattro denti metallici di una ruota di legno D, messi in comunicazione col piede I e col bottone C. Il movimento della ruota A viene trasmesso alla ruota D, ed i denti di essa urtano contro la lamina K, di maniera che la corrente principia e finisce quattro volte per ogni giro. La lunghezza del tempo, che separa le successive intermittenze, dipende così dalla rapidità del movimento della ruota A.

Finalmente, per variare l' intensità della corrente, si adopera un artificio eguale a quello del primo apparato di Duchenne. Il cilindro di rame, che avvolge il rocchetto, porta l'asta R; epperò spostando questa più o meno, nel senso opportuno per coprire o per scoprire il rocchetto, si diminuisce o si aumenta l'energia della corrente.

727. **Rocchetto di Ruhmkorff.** La più meravigliosa fra le macchine magneto-elettriche è quella costrutta da Ruhmkorff nel 1851, che servì a scoprire nuovi caratteri dell'elettricità, ed a farci comprendere a che punto di stupenda varietà e di potenza sorprendente può arrivare l'elettrico ne' suoi effetti. Nel mezzo d'un cilindro cavo di legno, o di cartone, è fissato un fascio di grossi fili di ferro dolce, che emerge da esso per un piccolo tratto, almeno ad una estremità; ed intorno al cilindro medesimo sono ravvolti uno sull'altro due fili metallici, coperti di un buon isolante. Il primo di questi fili, le cui estremità sono P ed N (fig. 729), è più grosso e più corto dell'altro, e riceve

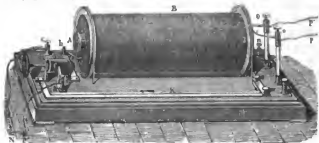



Fig. 729.

la corrente induttrice; ed il secondo, del quale si veggono le estremità in P e P′, è destinato a trasmettere le correnti indotte. Quando la corrente di una pila incomincia a circolare nel filo PN, si magnetizza il fascio A di ferro dolce, e si svegliano nell'altro filo due correnti indotte inverse: l'una per l'azione diretta della corrente della pila, e l'altra pel magnetismo temporaneo di A. Il fenomeno si riproduce al finire della corrente primaria, ma allora le correnti indotte sono dirette.

Per chiudere ed aprire successivamente il circuito, colla rapidità che si desidera pel buon effetto dello strumento, si adopera il *reotomo,* il quale è somigliante, per non dire identico, al congegno che serve al medesimo scopo nell'apparato elettro-voltiano di Duchenne. La corrente induttrice, che arriva all'apparato pel filo P, si porta ad una vite di pressione *a,* traversa il pezzo C, dal punto *b* entra nel rocchetto, e da qui esce all'altra estremità lungo il filo S (fig. 730). Il cammino che essa

Fig. 730.

tiene in seguito è indicato dalla direzione delle frecce segnate sulla figura. Dal filo *s* la corrente è condotta ad una colonnetta *i* e ad una lamina di ferro *o*, che si chiama il *martello*. Questo è mobile attorno all'estremità della colonnetta *i*, ed appoggia ordinariamente sopra una piccola asta *h*, che appellasi l'*incudine*. Perciò la corrente passa nella lamina *k*, nella vite di pressione *c* (fig. 729), ed al polo negativo della pila. Ma il fascio A, quando si magnetizza, attira il martello che si trova a poca distanza da esso, e distaccandolo dall'incudine interrompe la corrente. A questo punto cessa anche la calamitazione del pezzo A, il martello ricade sull'incudine, e la corrente comincia per un'altra volta. Così, nulla cambiando nel rimanente della macchina, il martello è obbligato ad oscillare con grande rapidità, aprendo e chiudendo il circuito ad ogni oscillazione, e la corrente induttrice si concepisce e cessa colla medesima prontezza.

Dopo quanto abbiam detto dell'induzione, si concepisce che il filo indotto sarà traversato da una corrente diretta, ogniqualvolta il martello si alza, e da un'altra inversa, quando si abbassa. Le correnti d'ambedue le specie contengono la stessa quantità di elettrico, ma la diretta, essendo più breve, ha una tensione maggiore. Perciò, riunendo i capi P e P′ del filo indotto, le due correnti tendono ad annullarsi, perchè circolano nel filo due eguali porzioni di elettricità contrarie; ma la cosa è molto diversa se quei due estremi sono separati da un piccolo intervallo, o da un mezzo che opponga qualche resistenza al passaggio dell'elettrico. Allora è sola la corrente diretta che passa, o per lo meno è quella che vi passa in eccesso, e produce i mirabili effetti che si possono ottenere col rocchetto in discorso. Bisogna confessare peraltro che nella macchina quale vi fu descritta, l'effetto della corrente diretta viene diminuito per una circostanza particolare. Al momento in cui si alza il martello, e cessa la corrente induttrice, si sveglia l'*estracorrente* nel medesimo filo conduttore, e fra il martello e l'incudine produce una scintilla che continua la corrente induttrice. Viene così accresciuta la durata della corrente indotta diretta, e per conseguenza la tensione di essa riesce indebolita.

Ma per buona sorte si è trovato come rimediare a questo inconveniente ed accrescere la potenza dell'apparato. Fizeau scoprì che l'intensità delle correnti indotte aumentava moltissimo, facendo comunicare le armature d'un condensatore con due punti del circuito induttore, presi dall'una e dall'altra parte del reotomo. Ruhmkorff trasse profitto di questa notizia per rendere migliore la sua bella invenzione. Il condensatore ch'egli adopera

è formato da un foglio grandissimo di taffetà, sulle due facce del quale sono incollate due fogli egualmente estesi di stagnola. Il tutto è ripiegato sopra sè stesso, e posto al dissotto del rocchetto, nello zoccolo di legno che lo sostiene. Una delle due armature di questo condensatore comunica colla vite di pressione *m* (fig. 730), congiunta alla lamina K ed al pezzo C (fig. 729); e l'altra è a contatto colla colonnetta *i* (fig. 730). Quando il martello si alza, la corrente induttrice che, venendo interrotta, aumenta d'intensità per effetto dell'estracorrente, si diffonde nel condensatore: l'elettricità positiva scola sull'armatura unita alla colonnetta *i*, e la negativa si raccoglie sull'armatura della vite di pressione *m*. Allora la scintilla d'induzione diminuisce, giacchè i due fluidi che la producevano trovano una grande superficie metallica sulla quale si distribuiscono. Ma appena dessi sono diffusi sulle due armature, si combinano per altra via, cioè si concepisce una corrente che dalla armatura positiva passa dalla colonnetta *i* al filo induttore, alla pila, al bottone *a*, al pezzo C, alla lamina K ed alla armatura negativa. Una tale corrente è naturalmente contraria a quella della pila, e perciò toglie istantaneamente il magnetismo al fascio di ferro dolce, sicchè la corrente indotta diretta non è più prolungata dall'estracorrente, ma anzi viene dalla medesima abbreviata. Ecco come l'ingegno umano sa volgere a profitto anche le difficoltà che gli si attraversano. Finalmente, per interrompere stabilmente la corrente induttrice, o per cambiargli direzione, si unisce all'apparecchio il *commutatore* C (fig. 729). La figura 731 ve ne offre una sezione orizzontale. Le lettere *a*, *b*, *c*, P ed N indicano le stesse parti in ambedue le accennate figure: tutto è di metallo, eccettuato un cilindro di bosso, ad asse orizzontale, di cui la lettera A rappresenta una sezione fatta con un piano che passa per l'asse medesimo. Alla superficie di questo cilindro, e lungo due lati diametralmente opposti, sono fissate due lamine di ottone, alte quanto il cilindro, ma poco larghe, una delle quali comunica, per mezzo del filo *y*, colla vite di pressione *b*, e l'altra, mediante il filo *x*, colla lamina K. Quando il cilindro A gira, la superficie curva di esso viene a sfregare contro i due pezzi di metallo C, C′, e la corrente dal punto *a* passa in *y*, e da *x* in *c*, all'istante in cui le due lamine metalliche si trovano a contatto dei due pezzi metallici C e C′; ma appena ciò non avvenga, la corrente riesce interrotta. Di più: se, essendo chiuso il circuito,

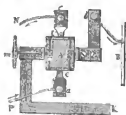



Fig. 731.

la posizione del commutatore è come mostra la figura, la corrente della pila arriva in *a*; passa, lungo il pezzo C ed il filo *y*, alla vite di pressione *b*, e da qui al rocchetto. Poscia, uscendo da questo, traversa il martello, scorre per la lamina K, passa il filo *x*, il pezzo C', e dal bottone *b* finisce alla pila ove è nata. Ma se vogliamo avere la corrente diretta nel verso opposto, dovremo volgere per un mezzo giro la vite *m*, e con essa il cilindro di legno: allora il filo *x* passerà dalla parte di C, ed il filo *y* dal lato di C'; e perciò la corrente, entrando da *x*, si propagherà lungo la lamina K, dal martello e dal rocchetto arriverà alla vite di pressione *b*, e da qui, lungo il filo *y*, ritornerà a C' ed alla pila.

ARTICOLO SESTO

EFFETTI DELL'ELETTRICITÀ DINAMICA.

728. **Effetti fisiologici delle correnti elettriche.** Gli effetti di una corrente elettrica possono essere *fisiologici, caloriﬁci, luminosi, meccanici* e *chimici*. I primi, dei quali voglio parlarvi adesso, consistono nelle contrazioni muscolari che provano gli animali appena morti o viventi, quando vengono sottomessi all'azione della corrente elettrica. I cadaveri di tutti gli animali, da poco tempo privati della vita, quando sono introdotti nel circuito di una pila, si contraggono spesse volte in modo straordinario e sorprendente: si direbbe, a prima vista, che tutto l'organismo si agita e tenta di rianimarsi; ma queste agitazioni violenti cessano colla corrente, e tutto ritorna nell'inerzia della morte. Le condizioni di questo fenomeno sono due. 1.° È necessario che la corrente percorra i nervi secondo la loro direzione longitudinale. Se dessa è normale alla lunghezza dei nervi, la contrazione non si manifesta, a meno che sia tanto forte da venire in parte derivata lungo i nervi medesimi. 2.° Bisogna che la corrente sia interrotta. Mentre l'elettrico circola con intensità costante nel corpo dell'animale, questo rimane in quiete.

Le leggi del fenomeno in discorso, per quanto si conosce attualmente, si possono riassumere in queste. 1.° La contrazione avviene al chiudersi del circuito, se l'elettrico scorre secondo la ramificazione dei nervi; ed invece si manifesta alla fine della corrente, se questa è diretta in verso opposto alla ramificazione dei nervi stessi. Nel primo caso la corrente s'appella *diretta* e nel secondo *inversa*. 2.° Quando si tenga chiuso il circuito per

un tempo alquanto lungo, la modificazione, prodotta nei nervi e nei muscoli dell'animale che ne fa parte, diviene permanente ed il fenomeno cessa. Ma si può riprodurlo cambiando la direzione della corrente. Il cadavere peraltro può riacquistare la sua contrattibilità venendo abbandonato a sè per qualche tempo, o sottoposto alla scarica elettrica.

Negli animali viventi la corrente elettrica, oltre alle contrazioni, produce anche delle sensazioni particolari. Se la pila non è molto forte, per sentire la commozione conviene bagnare le mani con acqua acidulata o salata, onde aumentare la conducibilità dell'epidermide. Al chiudersi del circuito si riceve una scossa, che si estende fino ai polsi, ai gomiti, od anche al petto, secondo l'intensità della corrente. Finchè il circuito rimane chiuso, non si ha più scossa; ma, se la pila è molto forte, si prova una sensazione dolorosa, un bruciore crescente, che talora diviene insoffribile. Si sente però una nuova scossa nell'apertura del circuito. La corrente *diretta* produce contrazione quando principia, e sensazione dolorosa mentre finisce: la cosa invece si capovolge, per così dire, se la corrente è *inversa*. Queste scosse sono più o meno gagliarde, secondochè è più o meno considerevole il numero degli elementi, poco importando poi che ciascun elemento sia grande o piccolo; cosicchè è questo uno degli effetti pei quali si richiede piuttosto la tensione che la quantità dell'elettricità. L'effetto aumenta se la corrente è più o meno rapidamente interrotta. Allora i muscoli dell'animale soggetto all'esperimento acquistano spesso una rigidezza spasmodica, specialmente usando delle forti correnti d'induzione. Chi impugna i reofori d'una buona macchina magneto-elettrica, soffre nei muscoli una contrazione tanto violenta che non gli riesce possibile di abbandonare in seguito i reofori medesimi. La sensazione diviene oltremodo intensa, le braccia si contorcono, e se presto non si sospenda l'esperienza, possono avvenire gravi inconvenienti. Non ci vuole molto per uccidere così un animale anche grosso e vigoroso. Che se la frequenza con cui si succedono le correnti cresca oltre a un certo limite, le contrazioni dapprima diminuiscono e quindi cessano. In generale, anche negli animali viventi accade ciò che abbiamo osservato quanto ai loro cadaveri, cioè il prolungato passaggio di una corrente rende i nervi incapaci a produrre le contrazioni muscolari per l'azione di una corrente di energia eguale o minore, e diretta nel medesimo verso. Nè i nervi possono riacquistare la loro primitiva attitudine che per un riposo abbastanza lungo, o meglio per l'azione di una corrente contraria. Per conseguenza sottoponendo l'ani-

male ad una serie di correnti alternativamente contrarie, l'effetto fisiologico può divenire meraviglioso. Ciò spiega perchè le scosse dell'apparato di Ruhmkorff, applicato ad una o due coppie di Bunsen, sieno tanto forti da riescire pericolose. Con due coppie di Bunsen si uccide un coniglio, e con un numero di coppie poco considerevole un uomo sarebbe fulminato. Quando si tocca con un dito il filo indotto di un rocchetto di Ruhmkorff, si riceve una scossa violenta, sebbene il filo stesso nel luogo del contatto sia coperto di seta.

Scoperta l'azione eccitante delle correnti elettriche, nacque naturalmente l'idea di servirsi di esse nella cura della paralisia, del reumatismo, della nevralgia, della gotta, dell'idrofobia, del tetano, della melanconia, ecc. Si fecero a questo fine molti tentativi, e quantunque gli effetti non siano sempre stati costanti, pure sono tali che fanno concepire le più belle speranze di una buona riuscita anche in questa parte. Venne proposto anche, e forse tra poco sarà praticato, di servirsi dell'elettricità per distinguere le morti apparenti dalle reali. Volendo adoperare la corrente come mezzo di medicina, si usa generalmente uno dei due apparati di Duchenne (726), applicando i due eccitatori al corpo dell'ammalato, in modo che la corrente passi nell'organo affetto dal male. Conviene però avere grandi cautele in queste operazioni, giacchè la cosa potrebbe avere gravi conseguenze. Bisogna sempre, come osserva il Matteucci, incominciare dall'uso di una corrente assai debole; non la si prolunghi di troppo, specialmente se energica; e si preferisca la corrente interrotta alla continua; ma dopo venti o trenta scosse al più, si lascino all'ammalato alcuni istanti di riposo.

729. **Effetti calorifici della corrente.** La corrente elettrica passando attraverso un filo metallico può scaldarlo, renderlo incandescente, ed anche fonderlo. Le pile più opportune a produrre i fenomeni calorifici sono quelle formate da elementi a grande superficie. Con pochi di simili elementi si ottiene non solo l'arroventamento e la fusione, ma nell'aria anche la combustione dei sottili fili d'acciajo, e delle laminette di stagno, di zinco, d'argento e d'oro: un filo di platino, che è pure tra le sostanze più refrattarie, si arroventa e si fonde; e sotto una pila molto energica anche il carbone si rammollisce. La pila è la sorgente calorifica più potente che l'uomo conosca. Becquerel ha scoperto che le leggi del riscaldamento prodotto dalla corrente in un filo metallico sono le seguenti. 1.° La quantità di calorico sviluppato è direttamente proporzionale alla quantità dell'elettrico che scorre nel filo in un tempo determinato. 2.° La stessa

quantità di calorico è in ragion diretta della resistenza che il filo oppone al passaggio dell'elettrico, ossia è in ragione inversa della conducibilità elettrica del filo medesimo. 3.° Finchè l'intensità della corrente resta costante, il filo si scalda egualmente in tutta la sua lunghezza, se pure ha dovunque lo stesso diametro. 4.° Nei fili della medesima natura, ed anche in un filo solo, ma inegualmente grosso nelle sue parti, il riscaldamento è inversamente proporzionale alla quarta potenza del diametro. Anche i liquidi e gli aeriformi, quando sono attraversati dalla corrente, si scaldano, e tanto più quanto maggiore è la resistenza che gli oppongono, sebbene il fenomeno non possa essere osservato che difficilmente.

Fra gli effetti calorifici dell'elettricità sono meravigliosi quelli delle correnti d' induzione, svegliate in un disco rotante davanti ad una calamita. Vi descrivo l'esperienza di Foucault. Si fa girare una ruota D (fig. 732), con una velocità di 150

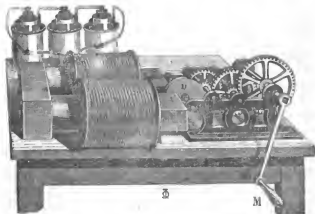



Fig. 732.

o 200 giri al minuto secondo, in mezzo a due prismi di ferro dolce A e B, posti a contatto dei poli di una forte elettro-calamita. Finchè la corrente non attraversa l'elettro-calamita, non si prova che una debolissima resistenza a movere la ruota D, la quale, abbandonata poscia a sè stessa, continua a rotare per un buon tratto di tempo. Ma se chiudesi il circuito, e per conseguenza si magnetizzano i due pezzi A e B, la ruota D si arresta quasi istantaneamente, qualunque sia la velocità che possiede; e riprendendo la manovella M per principiare di nuovo il mo-

vimento, s'incontra una resistenza notevole. Il fenomeno non deve far meraviglia a chi ricorda le cose esposte al n. 722. Le correnti d'induzione che si svegliano nel disco reagiscono sulle correnti dell'elettro-calamita: se questa fosse leggera e mobile verrebbe spostata; ma non essendo tale, è manifesto che ne deve nascere un ostacolo al movimento della ruota D. Ed il curioso è che continuando pure il movimento della ruota, ad onta di tutte le difficoltà che si frappongono, il lavoro che vi s'impiega trasformasi in calorico, ed il disco si scalda in modo straordinario. In una esperienza fatta dallo stesso Foucault la temperatura del disco, in 3 minuti, passò da 10° a 60°, mentre la corrente era prodotta da una pila di 3 coppie di Bunsen.

730. **Effetti luminosi della corrente.** D'ordinario colla pila non si ottiene la scintilla quando si avvicinano i reofori, ma bensì all'istante in cui, dopo d'averli riuniti, si separano di bel nuovo. Ed è degno di considerazione che allora, tenendo l'uno a piccola distanza dall'altro, se la pila è abbastanza forte, la scintilla si trasforma in un getto di luce continua, almeno in apparenza, che s'appella *l'arco voltaico,* ed acquista uno splendore straordinario (fig. 733) allorchè i due reofori sono di carbone. Moltissime e sorprendenti sono le proprietà dell'arco voltaico. Innanzi tutto facciamo osservare ch'esso principia solo quando i due carboni si trovano quasi a contatto; ma poscia questi possono essere allontanati fino ad un certo limite, senza che l'arco si estingua. Davy con una pila a truogoli di 2,000 coppie, della superficie totale di 824,000 centimetri quadrati, ottenne un arco voltaico lungo 11 centimetri; e Despretz con una pila di Bunsen, formata di 600 elementi in serie, lo ebbe della lunghezza di 20^{cm},2. Se l'esperimento è fatto nel vuoto e non nell'aria, i due reofori possono essere allontanati per un tratto maggiore; ed accrescendo il numero delle coppie la lunghezza dell'arco aumenta più che nella ragion diretta. L'arco voltaico può formarsi anche nei liquidi, se pure non sono conduttori dell'elettrico; ma in tal caso è meno lungo e diminuisce molto di splendore.

Fig. 733.

Importante è la proprietà calorifica dell'arco voltaico. Si può dire che la temperatura di esso è più elevata che l'arte possa produrre; e non bisogna perdere di vista che i due reofori d'ordinario

si scaldano disugualmente. Se dessi sono della stessa natura, il positivo si scalda più del negativo; ma in caso diverso, si scalda sempre di più quello che è meno conduttore dell'elettrico.

Anche quanto al potere illuminante l'arco voltaico supera tutte le altre sorgenti luminose artificiali. La luce da esso irradiata è tanto viva che non vi si può fissare lo sguardo, ed accostandovi la fiamma di una candela, si vede questa gettare l'ombra dietro a sè, come farebbe un corpo opaco. L'intensità luminosa dell'arco prodotto da 50 coppie di Bunsen supera quella di 600 candele. Despretz osserva che la luce di 100 coppie può produrre malattie di occhi assai dolorose, e quella di 600 è causa dei più violenti dolori di capo e di occhi, e basta ad abbruciare la pelle del viso, come lo farebbe una forte insolazione. L'intensità luminosa dell'arco voltaico cresce specialmente coll'aumentare della superficie delle coppie. Si è scoperto inoltre che la luce elettrica non si diffonde egualmente in tutte le direzioni, ma è più intensa nel verso della corrente. Nè meno sorprendenti sono le proprietà chimiche della luce elettrica. Possiamo dire in generale che dessa ha le medesime proprietà chimiche della luce solare, sebbene ne varii l'energia.

Quando l'arco si produce nell'aria, i due pezzi di carbone diminuiscono di volume perchè abbruciano ambedue; ma nel vuoto tale combustione cessa, e si vede la punta positiva impiccolire e diminuire di peso, mentre la negativa aumenta di grossezza e si allunga: havvi dunque un trasporto di materia dal polo positivo al negativo. Ciò forse può spiegare un fatto osservato da Despretz, cioè che l'arco formatosi fra due carboni verticali può raggiungere una lunghezza maggiore quando il polo positivo è all'alto, invece di essere al basso. Se ai reofori di carbone si sostituiscono due metalli, l'arco voltaico appare ancora, appena si verifichino le condizioni accennate più sopra. Ma lo splendore e la lunghezza dell'arco in questo caso sono generalmente minori; vanno però aumentando in ragione inversa della tenacità dei metalli, ed in ragion diretta della loro volatibilità, probabilmente perchè riesce più facile il trasporto della materia dall'uno all'altro polo. Un tale trasporto si constata in ambedue le direzioni, cioè se l'arco si spicca fra due metalli diversi, si trova che alcune particelle del reoforo positivo sono trasportate nella direzione della corrente al reoforo negativo, come pure altre di quest'ultimo sono trascinate nel senso opposto. Generalmente la quantità della materia trasportata nella direzione della corrente è maggiore di quella che passa nel verso contrario, forse, come avverte il Mat-

teneci, per effetto della più alta temperatura del polo positivo; ma, dipendendo la cosa anche dalla volatibilità dei metalli, havvi necessariamente qualche eccezione. Questo curioso fenomeno, offertoci dall'arco voltaico, venne confermato dall'analisi spettroscopica (469). Lo spettro dell'arco voltaico mostra i medesimi colori dello spettro solare; ma in esso le righe sono brillanti invece di essere nere. Il numero e la disposizione di queste righe variano colla natura dei reofori; e se questi sono formati da metalli diversi, il complesso delle medesime righe è quello che corrisponde alla soprapposizione delle righe caratteristiche dei due metalli. È dunque manifesto che ambedue i reofori sono volatilizzati e trascinati nello spazio dell'arco voltaico. Ciò deve avvenire anche nel caso in cui i reofori sono identici, sebbene non si manifesti in fin dei conti che il trasporto dal polo positivo al polo negativo, cioè la differenza fra le quantità di materia trascinate nelle due direzioni.

Da ciò siamo tratti naturalmente a pensare che l'arco voltaico sia prodotto dall'incandescenza delle particelle volatilizzate e trasportate dalla corrente. Quando i due reofori sono abbastanza vicini, la corrente passa dall'uno all'altro, involgendo seco una buona porzione di particelle dei due reofori. Così viene a formarsi una catena mobile, che trasmette la corrente, ma opponendogli una notevole resistenza, sicchè si scalda fino a divenire incandescente.

Regolatore della luce elettrica. Scoperta la luce elettrica, nacque naturalmente il desiderio di applicarla in grande ai fari, alla pubblica illuminazione delle città, ecc. Ma una difficoltà attraversava questa bella idea. Il carbone positivo diminuisce più prontamente che il negativo non cresca; perciò la loro distanza va man mano ingrandendosi, e la luce dell'arco s'indebolisce finchè a poco a poco si estingue. È chiaro pertanto che per fare l'applicazione accennata, importava di trovare il mezzo di appressare i due carboni con tale velocità che, non ostante il continuo corrodersi del carbone positivo, la loro distanza rimanesse costantemente la medesima.

Il problema venne felicemente risolto da poco tempo; ed ora si conoscono molti *regolatori* della luce elettrica. Bellissimi sono quelli imaginati da Foucault, da Duboscq, da Petri, da Deluil e da Serrin; molto pregevole per la semplicità del congegno è anche il regolatore fabbricato dal dottissimo P. Cavalleri. Ma qui basterà descriverne due soli. Scelgo quelli di Deluil e di Duboscq. Nel primo di questi apparati i carboni sono posti l'uno al dis-

sopra dell'altro; ma il superiore N (fig. 734), negativo, è fermato in un sostegno D, mentre l'inferiore può scorrere in su, a seconda che l'intervallo dei due carboni tende ad aumentare. Per ottenere questo effetto, sotto al piano OO dell'apparato, è sospesa una leva A (fig. 735) che può oscillare intorno al fulcro L, fra i limiti determinati da due piccoli ostacoli, come si vede nella figura. Una estremità di questa leva è incessantemente tirata verso l'alto da una molla B; intanto che l'altro estremo è pure attratto nello stesso verso da una elettro-calamita E, attraversata dalla corrente medesima che produce l'arco voltaico. Vicino alla molla B è fissata verticalmente una piccola lamina di acciajo un po' ricurva, la quale in I può successivamente imboccare i denti di una specie di sega verticale K, che porta il carbone positivo P. I denti della sega sono rivolti verso il basso, e la curvatura della lastra è tale che quando si abbassa va saltando di dente in dente, senza movere la sega; ma elevandosi urta contro il più vicino dei denti che le stanno sopra, e spinge in su la sega ed il carbone. Ora ecco qual sia l'effetto del meccanismo. Le cose sono disposte in modo che, quando i carboni si trovano alla distanza corrispondente a quel grado di luce che si desidera, l'elettro-calamita, colla forza che riceve dalla corrente elettrica, tenga distesa la molla; epperò, accrescendosi l'intervallo dei due carboni, s'indebolisce la forza magnetica della corrente, e quindi della calamita, e la molla tira in su dal suo lato la leva, e spinge in alto il carbone positivo.

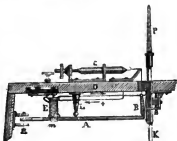



Fig. 734.

Fig. 735

Il regolatore di Duboscq è rappresentato dalla figura 736. La parte principale di questo apparato è un cilindro mobile intorno all'asse orizzontale xy, il quale porta due ruote dentate a e b. La seconda ha un diametro doppio di quello della prima. Quando il cilindro xy si move, nel senso indicato dalle frecce, la ruota b spinge al basso il carbone positivo, e la ruota a alza il carbone negativo. La corrente della pila, dal filo E, ascende nell'asta H, arriva al carbone positivo, passa al negativo, e da qui si diffonde nell'apparecchio (senza trasmettersi alla sega C, nè alla colonnetta d, isolati dal rimanente), attraversa l'elettro-calamita B, e finisce pel filo E' al polo negativo della pila. Questa elettro-calamita attrae un pezzo di ferro dolce A, aperto al centro per lasciar passare la dentiera C', e fisso all'estremità di una leva che oscilla intorno ai due punti mm. Le

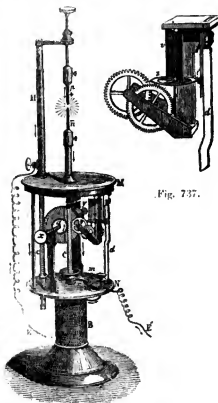



Fig. 737.

Fig. 736.

oscillazioni di questa leva vengono trasmesse all'asta d, che fa imboccare o distacca, a seconda del verso in cui si move, una prominenza i dalla ruota z, come meglio appare nella figura 737. Ciò posto, si capisce facilmente come la macchina serva all'intento. Il cilindro xy è sottomesso all'azione continua di un peso o di un altro motore qualunque, che tende a farlo rotare nel verso indicato dalle frecce; ma l'impulso rimane senza effetto, se la prominenza i non lascia libera la ruota z, colla quale il cilindro stesso comunica per mezzo di una vite perpetua e di alcune ruote. Il contatto della prominenza i colla ruota z dura finché la calamita è abbastanza forte da tenere abbassata l'armatura A, opponendosi all'effetto di una molla r, che costantemente tende a sol-

levare la medesima armatura. Appena la distanza dei carboni aumenti, vien meno l'energia della corrente, diminuisce anche la forza dell'elettro-calamita; sicchè l'armatura A si alza, l'asta *d* si abbassa, e la prominenza *i* abbandona la ruota *z*. Ben tosto principia il movimento del cilindro *xy*, e quindi delle due dentiere, ed i carboni riescono avvicinati. Ma non mai più di quello che si richiede per mantenere costante l'intensità della luce; giacchè quando la corrente riacquista la forza primitiva, l'armatura A viene di nuovo attratta, e resta sospeso, per un'altra volta, il movimento del cilindro *xy*.

Ad onta però dell'invenzione di somiglianti apparati per avvicinare regolarmente i due carboni, la luce elettrica, finora non si adopera che in qualche caso speciale d'illuminazione, ed il motivo di ciò è il grave dispendio che si richiede ancora per mantenere la pila sufficiente alla buona riuscita della cosa. Se ne usa per rischiarare i lavori che si fanno di notte in campagna aperta; e si è anche trovato che la luce di un faro elettrico in tempo di nebbia arriva a distanza maggiore di quella degli altri fari.

Effetti luminosi del rocchetto di Ruhmkorff. La grande tensione delle correnti indotte, nella macchina di Ruhmkorff, si manifesta anche negli effetti luminosi. Se si fermano le due estremità del filo indotto, l'una a poca distanza dall'altra, si spicca fra esse una serie di vive e fragorose scintille. Coi gran rocchetti di 65 centimetri l'intervallo che separa gli estremi dei due fili può giungere a 45 centimetri. Quando si fanno scoccare queste scintille nel vuoto pneumatico, fra le due palle dell'apparato che serve all'esperienza *dell'uovo elettrico*, si vede una bella striscia luminosa (fig. 738) andare da una bolla all'altra, in modo sensibilmente continuo, e colla stessa intensità di quella che si ottiene per mezzo di una potente macchina elettrica, quando sia fatta girare con rapidità. Dal polo positivo, supposto all'alto, parte un getto di luce rossa, che offre presso alla bolla il massimo splendore, e si espande quasi in tutta la capacità del vaso. Al contrario il polo negativo non produce nessun getto di luce, ma è in quella vece circondato da alcuni strati luminosi di colore violaceo, i quali non si distaccano dalla bolla, sicchè fra questa ed il fiocco splendente dell'altro polo rimane sempre uno spazio oscuro. La striscia luminosa devia dalla sua direzione (fig. 739) se gli si avvicina la mano. L'apparenza cambia, se nell'aria rarefatta s'introducono vapori d'alcool, di etere, di solfuro di carbonio, d'olio essenziale di trementina, ecc. Allora l'uovo elettrico si mostra diviso in tanti strati (fig. 740), perpendicolari alla linea delle due bolle, i quali sono alternati-

vamente luminosi ed oscuri. A questo curioso fenomeno si dà il nome di *stratificazione* della luce elettrica. Il colore della luce,

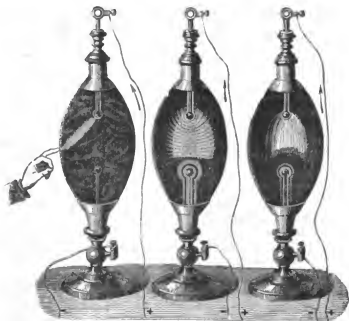



Fig. 739. Fig. 740. Fig. 738.

la forma e le dimensioni delle zone, luminose ed oscure, variano al mutarsi della natura del mezzo, ma la stratificazione sempre si manifesta, ed i due poli mantengonò costantemente la loro diversità caratteristica. L'esperimento può divenire più elegante, cambiando la forma del recipiente. Se si adopera un *tubo di Geissler,* cioè un tubo capillare, ripiegato in modo bizzarro, che di tratto in tratto si allarghi in una bolla (fig. 741), e contenga

Fig. 741.

aria od un altro gas rarefatto, si vede che nelle parti larghe la

luce è molto debole, ma diviene assai viva nelle parti strette, e vivissima nelle capillari. S'ignora ancora la causa di questi brillanti fenomeni. Grove suppone che la stratificazione sia un effetto delle intermittenze prodotte nella corrente indotta dalla apertura del circuito induttore. Despretz osservò che la stratificazione si può riprodurre anche per mezzo di una corrente continua, colla differenza però che, mentre usando di una corrente interrotta si esige una pila di poche coppie, adoperando invece una corrente continua si richiede una pila formata da un buon numero di coppie. Ma questo fatto non contraddice all'idea di Grove, perchè è difficile che in una corrente intensa non vi siano intermittenze, specialmente se trasporta seco particelle di materia ponderabile. Recentemente il professore Della Casa, dimostrata l'insufficienza delle ipotesi imaginate finora per spiegare la stratificazione della luce elettrica, ne propone un'altra. Egli pensa che l'elettrodo positivo attragga gli strati più vicini del gas o del vapore di cui è ripieno l'uovo elettrico, e poscia, avvenuta la scarica elettrica, li respinga. Questi strati agirebbero, alla loro volta, sopra i seguenti nella guisa stessa che l'elettrodo operò su di loro; e così farebbero tutti successivamente fino al polo negativo. Continuando una simile trasmissione di elettricità, si avrà una serie di scariche luminose, che avvengono a piccoli intervalli di spazio, e fanno apparire stratificato l'uovo elettrico. Il chiarissimo professore, per confermare la sua ipotesi, adattò un piccolo manometro alle pareti del vaso che gli serviva per l'esperienza dell'uovo elettrico; e vide che la colonna mercuriale, al momento della stratificazione, oscillava costantemente. Secondo lui, ciò prova un cambiamento continuo di pressione sull'orifizio del manometro, od un moto nell'interno del vaso.

Azione delle calamite sulla luce elettrica. Una calamita, posta in vicinanza dell'arco voltaico, lo attrae o lo repelle secondo la posizione dei due poli. Nell'aria rarefatta, ove l'arco acquista una lunghezza maggiore, l'effetto è notabilissimo. Che se invece di una calamita permanente si accosta all'arco voltaico un elettromagnete, l'azione è così energica che talvolta l'arco si trasforma in un dardo simile a quello che si ottiene soffiando con un tubo sulla fiamma di una lucerna; e non di rado riesce interrotto, producendo nell'atto stesso una esplosione analoga a quella che accompagna la scarica di una bottiglia di Leyda, o di una batteria elettrica. De-la-Rive imaginò una curiosa esperienza per dimostrare l'azione delle calamite anche sulla scarica d'induzione. Egli dispose nell'uovo elettrico un pezzo di ferro

dolce *mn* (fig. 742), circondato alla base da un rocchetto AB, e coperto lateralmente da uno strato isolante fin presso alle estremità, in modo da mostrare qui come due anelli metallici. Il reoforo indotto positivo del rocchetto di Ruhmkorff comunicava col bottone *o* e coll'anello *n*, e l'altro era a contatto dell'anello *x;* sicchè il getto luminoso appariva tra *n* ed *x*, diffondendosi più o meno nella capacità del pallone. Ma quando si faceva passare una corrente nel rocchetto AB, ed il pezzo di ferro dolce veniva magnetizzato, il fenomeno cambiava: la luce, invece di partire dai diversi punti del contorno superiore *n*, per gettarsi sull'anello inferiore *x*, si condensava, ed offriva l'aspetto di un arco luminoso da *n* in *x*, che girava lentamente intorno al cilindro calamitato, ora nell'uno ed ora nell'altro verso, a seconda della direzione reciproca delle due correnti. Questi fatti mostrano all'evidenza che la scarica d'induzione, come l'arco voltaico, non è che una serie di correnti che circolano attraverso l'aria.

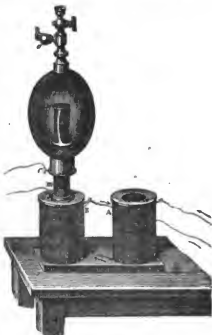



Fig. 742.

731. **Effetti meccanici delle correnti.** Gli effetti meccanici delle correnti non differiscono che nella intensità e nella durata da quelli prodotti dalle scariche istantanee. Col rocchetto di Ruhmkorff, lungo 65 centimetri, si fora istantaneamente una lastra di vetro della grossezza di 5 centimetri, disponendo l'esperimento come si vede nella figura 743. La struttura interna dei conduttori che hanno lungamente servito alla propagazione delle correnti continue si mostra spesse volte modificata, in modo da non lasciare alcun dubbio sulla violenta agitazione che viene prodotta dalla corrente nei corpi che la trasmettono. Il trasporto delle particelle dei due reofori nell'arco voltaico è un effetto meccanico della corrente, che passa dall'uno all'altro. La tenacità dei

fili di rame in qualche caso diminuisce più di un quarto per il passaggio prolungato della corrente anche di un solo elemento; ma non è qui possibile decidere se ciò sia un effetto immediato della corrente, ovvero dipenda dal riscaldamento prodotto dalla stessa corrente. Dove l'azione meccanica si manifesta meglio è nei liquidi. Se in un vaso, diviso in due compartimenti da un pezzo di vescica o di altra sostanza porosa, fermatovi in posizione verticale, si versa acqua in modo che arrivi allo stesso livello in ambedue le parti, e poscia si tuffa nell'una il reoforo positivo di una pila, e nell'altra il reoforo negativo, appare ben presto che il livello del liquido nel primo scompartimento si eleva, mentre si abbassa nel secondo. Le leggi di simili fenomeni sono due. 1.° Le quantità di liquido trasportato in tempi eguali sono proporzionali alle intensità delle correnti. 2.° Queste medesime quantità sono indipendenti dallo spessore e dalla superficie del diaframma o del vaso poroso.

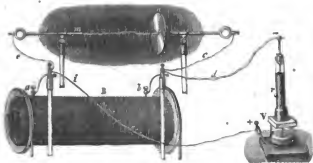



Fig. 743.

732. **Effetti chimici delle correnti.** Gli effetti chimici delle correnti consistono specialmente nelle decomposizioni dei corpi. La pila è il mezzo più potente che l'uomo possegga per analizzare i corpi. Già vi ho fatto conoscere il processo adottato da Nickolson e Carlisle per decomporre l'acqua (319). L'apparato (fig. 312) che si unisce alla pila per questo esperimento si chiama *voltametro,* perchè dalla quantità di acqua decomposta si può dedurre l'intensità della corrente. Ricorderete pure, io spero, che la chimica pervenne nel nostro secolo a scoprire le più belle leggi, usando appunto del potente apparato di Volta. La gloria di questa felice ed importante applicazione è specialmente di Davy e di Faraday. Questi chiama *elettrolisi* la decomposizione di una sostanza eseguita dalla corrente elettrica, ed *elettrolito* ogni sostanza capace di elettrolisi, cioè pos-

sibile a decomporsi per opera della corrente. Lo stesso dotto appella *anodo* il reoforo od elettrodo positivo, e *catodo* l'elettrodo negativo; denomina *ioni* gli elementi separati nell'elettrolisi, *anione* l'elemento elettro-negativo, che si porta al polo positivo, e *catione* l'elemento elettro-positivo, che va al polo negativo della pila (274). La corrente nata da una buona pila di Bunsen vale a decomporre pressochè tutti i composti binarj, e persino le terre e gli alcali, che prima delle esperienze di Davy si credevano indecomponibili. Dalla tavola esposta al n. 274 appare che negli ossàcidi l'ossigeno svolgesi all'anodo, e l'altro elemento al catodo; negli idracidi in generale l'idrogeno sviluppasi all'elettrodo negativo, e l'altro metalloido al positivo; e negli altri composti formati da un metallo e da un metalloido, il primo si mostra al catodo ed il secondo all'anodo.

Quanto agli ossisali si osserva che quelli dei metalli compresi nelle ultime quattro classi (299), quando vengono sottomessi all'azione di una buona pila, riescono decomposti in modo che l'acido e l'ossigeno dell'ossido appajono al polo positivo, ossia all'anodo, mentre al catodo si mostra il metallo ridotto. Invece, sottoponendo alla pila un sale dei metalli delle prime due sezioni, l'acido si raccoglie all'anodo e l'ossido si mostra al catodo. Per spiegare questa diversa maniera di comportarsi degli uni e degli altri sali, si pensava che l'ossido fosse tanto stabile da riescire indecomponibile sotto l'azione della corrente. Ma una più minuta analisi dei fenomeni ha scoperto che l'ossido viene decomposto anche nel secondo caso, e l'ossigeno di esso si porta al polo positivo insieme all'acido, mentre il metallo va all'altro polo, ma questo in fin dei conti non vi rimane puro, perchè decompone l'acqua, ed unendosi all'ossigeno di essa passa nuovamente allo stato di ossido.

La decomposizione di un sale può divenire elegante, se, come ha fatto Nobili, si versa una goccia d'una soluzione d'acetato di piombo o di solfato di rame sopra una lamina metallica, posta in comunicazione col polo negativo di una debole pila; e poscia si chiude il circuito con un filo di platino, che si congiunga al polo positivo, e s'immerga nella goccia della soluzione, senza però toccare la lamina. Allora intorno allo stilo di platino si depositano sulla lamina molti anelli concentrici, a varie tinte, i quali, secondo la teoria degli anelli colorati di Newton (463), non sono che l'effetto degli strati metallici sottilissimi che si depongono sulla piastra negativa. Colla corrente si possono eziandio riprodurre i brillanti fenomeni degli alberi di *Saturno* e di *Diana*. Un fatto poi che non può sfuggire all'osservazione

è che in tutte queste decomposizioni chimiche, ottenute col sussidio della pila, gli elementi separati non appajono che alla superficie degli elettrodi. Imaginatevi tre vasi, che diremo A, B, C; supponete che il primo A contenga una soluzione di solfato di soda, il secondo B sia riempito con acqua tinta in violetto dai grani di tornesole, e nel terzo C non si trovi che acqua pura; fate comunicare A con B, e B con C, per mezzo di due pezzi d'amianto inumidito; e per ultimo, congiungete A col polo positivo, e C col polo negativo di una pila, sicchè la corrente passi da A a C. Dopo qualche tempo, troverete che il solfato del vaso A sarà decomposto, la soda si troverà in C, l'acido sarà rimasto in A, e potrà arrecare meraviglia il constatare che la tintura violetta del vaso B non è arrossata od inverdita, nè alla fine dell'esperienza, nè tampoco durante l'elettrolisi. Grotthus spiega questo singolare fenomeno col principio della polarizzazione (696): pensa che non avvenga un diretto trasporto dei componenti degli elettroliti, ma piuttosto, mentre succede una serie di scariche elettriche fra le singole successive molecole dell'elettrolito (fig. 651), i componenti di esse vengano man mano a scambiarsi fra le molecole contigue; sicchè la parte elettronegativa di una molecola passi ad unirsi alla elettro-positiva della precedente verso l'anodo, e la parte elettro-positiva si congiunga alla elettro-negativa della susseguente verso il catodo, e per ogni filetto orizzontale di molecole non riescano libere che le molecole situate alle estremità in ciascun istante successivo. La cosa si compie con straordinaria rapidità: le molecole intermedie vengono polarizzate, orientate, decomposte e ricomposte con un simile processo; ma sempre restando liberi i due elementi estremi, e, passando successivamente anche gli intermedj alle estremità, sono alla loro volta separati, in fin dei conti, come i primi.

Leggi dell'elettrolisi. Le leggi delle decomposizioni elettrochimiche, scoperte da Faraday, e confermate da Matteucci e Becquerel, sono importantissime. 1.° *Ogni corrente ha la medesima potenza chimica in tutte le sue parti;* giacchè, fissando parecchi voltametri in un solo circuito, si trova che alla fine di un certo tempo riescono decomposte eguali quantità di acqua. 2.° *La quantità della sostanza decomposta in un tempo determinato è proporzionale alla quantità di elettrico che passa nel medesimo tempo.* Di fatto, se, pigliati tre voltametri perfettamente eguali, si collocano in modo che la corrente, uscita dal primo, debba bipartirsi fra gli altri due, la quantità di gas che si sviluppa in ciascuno di questi è la metà di quella che si ottiene nel primo. 3.° *La quantità della sostanza decomposta è propor-*

zionale all'intensità della corrente misurata al galvanometro. 4.° Quando una corrente attraversa diversi elettroliti, le quantità ponderabili dei corpi separati sono proporzionali agli equivalenti chimici dei corpi medesimi. Se la corrente attraversa una mescolanza di due elettroliti, si osserva che ora viene decomposto uno solo di essi, ed ora invece riescono decomposti ambedue simultaneamente. Ma la somma delle quantità ponderabili degli elementi depositati sul reoforo positivo equivale costantemente al peso dell'unico elemento che si sarebbe raccolto sullo stesso reoforo, se un solo elettrolito si fosse collocato nel medesimo circuito. Per esempio, se uno degli elettroliti mescolati depone all'elettrodo negativo $^1/_3$ dell'equivalente del suo elemento elettro-positivo, l'altro porterà al medesimo elettrodo $^2/_3$ del suo equivalente, nel tempo che il voltametro riceverebbe un equivalente d'idrogeno; onde il lavoro chimico della corrente resta sempre costante. Scaturisce di qui che la quantità d'acqua, o di qualunque altra sostanza, decomposta può servire a misurare la quantità dell'elettricità fornita da una pila voltaica. Si chiama pertanto *equivalente d'elettricità dinamica* la quantità di elettrico capace di decomporre un equivalente d'acqua o di qualunque altro elettrolito. 5.° *Il lavoro chimico interiore che sviluppa l'elettricità in ciascuna coppia equivale al lavoro chimico prodotto in qualsivoglia punto del circuito esteriore.* È questa una conseguenza delle leggi precedenti, le quali mostrano che il lavoro chimico è costante in tutte le parti della corrente, e quindi ancora nell'interno di ciascuna coppia della pila, che fa parte del circuito medesimo. Da ciò appare che, per decomporre un equivalente di un elettrolito, conviene consumare un equivalente di zinco in ciascuna coppia; ossia che per ottenere un equivalente di elettricità bisogna impiegare un equivalente di zinco. Dalla stessa legge si deduce parimenti che la quantità di elettrico che passa nel circuito esteriore, se questo non oppone resistenza sensibile, è indipendente dal numero delle coppie, e collegata solamente all'estensione della superficie attaccata. 6.° *Ad un equivalente di elettrico sempre corrisponde lo sviluppo di un equivalente dell'elemento elettro-negativo del composto.* Questa legge, conosciuta sotto il nome di *legge di Becquerel*, esprime nella maniera la più esatta il processo delle decomposizioni elettro-chimiche.

733. **Galvanoplastica.** Dalla cognizione delle cose esposte nacque la *galvanoplastica*, ossia l'arte di servirsi della corrente elettrica per fare una copia di un oggetto scolpito od intagliato, o per coprire stabilmente di un intonaco metallico (di rame,

d'argento, d'oro) un oggetto qualunque. La prima idea di questa felicissima applicazione della pila di Volta è dovuta al Brugnatelli; ma quelli poi che riuscirono a farne un'arte ben definita e sicura furono Jacobi in Russia e Spencer in Inghilterra. Quando si voglia copiare un oggetto in rilievo, bisogna innanzi tutto preparare il modello, ossia farne la copia negativa, o, come si dice, in incavo. Supponiamo che si tratti di una medaglia metallica. In questo caso si fonde una certa porzione di lega di Darcet (336), indi vi s'immerge la faccia da riprodurre della medaglia in discorso, e non la si estrae che quando intorno ad essa siasi solidificata una buona porzione della lega; lo strato di lega così formatosi, distaccato dalla medaglia, sarà la copia negativa. Se la medaglia fosse di gesso, bisognerebbe prima immergerla in un bagno di stearina, poscia ricoprirla di uno strato di piombaggine, circondarne il lembo con una lista di cartone più alta che non la grossezza della medaglia, e, tenendola in posizione orizzontale, versarvi sopra un po' di stearina appena fusa. Questa si consolida, e riproduce naturalmente una copia al rovescio della medaglia, da cui può essere facilmente separata, pel buon effetto della piombaggine interposta. Si fanno anche dei modelli in incavo colla guttaperca. Rammollito nell'acqua calda un pezzo di questa sostanza, lo si adatta ad una superficie della medaglia già ricoperta da uno strato sottile di piombaggine, e poscia si stringono assieme, avendo la cautela di premerli egualmente in tutti i punti. Dopo qualche tempo, la guttaperca sarà raffreddata ed avrà indurito, mantenendo la forma dell'oggetto contro del quale venne premuta. Lo stampo rivestito internamente di piombaggine potrà tosto servire alla riproduzione della medaglia.

Quando si abbia la copia negativa dell'originale, all'artefice resta poco a fare. Egli dovrà sospendere verticalmente questa copia *m* (fig. 744) in una soluzione satura di solfato di rame, e mettervi di fronte, a poca distanza nel liquido medesimo, una lamina di rame C; indi, allacciata la figurina *m* al reoforo negativo di una coppia Q di Bunsen, e la lamina C al reoforo positivo,

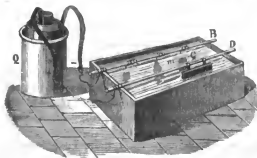



Fig. 744.

bisognerà lasciare lungamente (48 ore circa) tranquillo il liquido e le cose che vi sono immerse, intanto che la pila continua ad operare. Per favore della corrente, il solfato di rame sarà decomposto, il rame ridotto si raccoglie al reoforo negativo, e si deposita a poco a poco, in modo regolarissimo, sulla parte conduttrice del modello, mentre l'acido solforico e l'ossigeno dell'ossido di rame si radunano al polo positivo: l'ossigeno attacca il rame, l'ossido che viene formato si combina coll'acido solforico, riproducendo tanto solfato quanto ne viene decomposto dalla corrente. La soluzione si mantiene così costantemente satura, e l'effetto finale è la trasmissione del rame della lamina C alla figurina *m*. Propriamente parlando, si deve dire che alla figura *m* è ceduto il rame della soluzione, e questa lo riceve dalla lamina C; ma, perchè la soluzione ne riceve quanto ne perde, la cosa in fin dei conti è come se il rame di C passasse al modello *m*. Per conseguenza, cavando fuori questa copia negativa, in capo al tempo suddetto, la si troverà vestita di rame in ogni sua parte con grande esattezza. Siccome peraltro il rame vi forma uno strato compatto, e non aderente per molto al modello, così lo potremo distaccare, ed avremo una copia fedelissima dell'originale. Conviene però intonacare di cera quelle parti della copia negativa sulle quali il metallo non deve deporsi.

Elettro-doratura — ed elettro-inargentatura. Ognuno indovina che, surrogando la soluzione di solfato di rame con una di cloruro d'oro o di cianuro d'argento, e mettendo al posto della lamina di rame, una lamina d'oro o d'argento, sull'oggetto *m* verrà deponendosi uno strato d'oro o d'argento. Per ciò, se all'asta B sospendiamo un pezzo qualunque di rame, di bronzo, di ottone, ecc., esso sarà in breve tempo rivestito d'oro, o d'argento. Onde però l'operazione riesca bene, importa usare molte cautele. Innanzi tutto bisogna scaldare i pezzi che debbono essere indorati od inargentati; poscia immergerli successivamente in tre diversi bagni d'acido nitrico diluito con molt'acqua, d'acido nitrico mescolato a parti eguali con acido solforico, e d'acido nitrico contenente una piccola quantità di cloruro di sodio: e per ultimo, conviene lavarli bene nell'acqua distillata. La soluzione dovrà essere fatta in modo che ogni grammo di cloruro d'oro o di cianuro d'argento sia sciolto, insieme a dieci grammi di cianuro di potassio, in cento grammi d'acqua pura. Converrà inoltre che la pila sia formata da tre o quattro coppie di Daniell o di Bunsen; e se il metallo da inargentare od indorare non sarà uno dei tre accennati, e neppure il rame od il packfong, non bisognerà dimenticare di coprirli prima di uno strato di rame.

734. **Conclusione**. Il P. Secchi scoprì alcune belle analogie tra le correnti liquide e le elettriche. L' idea fondamentale del celebre Romano è questa che la pila può essere paragonata ad un vaso di stretto diametro, ove venga a raccogliersi un liquido. Supponete che presso al fondo d'un simile recipiente si applichi un tubo orizzontale, nel quale siano piantati tre o quattro piccoli tubi verticali. Se la bocca esterna del tubo maggiore è chiusa, il liquido si alza allo stesso livello nel vaso, e in tutti i tubi verticali (130). Ma, quando si permette lo scolo, le altezze delle superficie di livello nei tubi minori decrescono notevolmente, coll'aumentare della loro distanza dal recipiente. Nel primo fatto abbiamo un esempio della tensione, e nel secondo troviamo l'imagine della corrente elettrica. Questa si palesa ancor meglio, intercettando con prestezza il corso al liquido. Esso allora si eleva nei tubi verticali al dissopra del livello che ha nel vaso. Se al contrario si schiude con rapidità il canale, il liquido s'abbassa in tutti gli altri tubi molto al dissotto del livello a cui si tiene ivi costantemente, durante l'efflusso. Chicchessia scorge che questi fenomeni sono similissimi a quelli dell'estracorrente *inversa* (724), e *diretta*. Ed è singolare che l'abbassamento del liquido nella seconda esperienza eguaglia l'elevazione notata nella prima.

Ma l'analogia dei due fenomeni va ancor più innanzi. Se il tubo conduttore del liquido è flessibile, stringendolo fra le dita in modo da diminuirne la sezione, si sente un fremito ed una oscillazione così violenta che sembra di toccare un corpo sonoro. Ecco una identità con ciò che sappiamo dell'aumento di temperatura nei conduttori elettrici, al diminuire della loro sezione (729), e del massimo splendore delle parti capillari nei tubi di Geissler (730). Da questo fatto il P. Secchi deduce due importanti conseguenze. 1.° Il moto di trasporto d'un fluido non esclude il movimento vibratorio. 2.° Perchè i moti vibratorj non si rinforzano, onde spiegare l'aumento di temperatura, al restringersi del filo conduttore dell'elettrico, conviene ammettere che la velocità della corrente elettrica cresca in ragione inversa della sezione, come avviene nelle correnti d'acqua (257-*scolio*). Da qui, continuando il confronto, si scoprono altri punti di somiglianza tra le correnti liquide e le elettriche. Tali sono il diminuire della loro velocità al crescere della resistenza, o della lunghezza del conduttore, l'essere la quantità di fluido identica in tutte le sezioni, ecc.

PARTE SECONDA

FISICA SPECIALE

ASTRONOMIA

735. **Astronomia**. L'astronomia ha per oggetto lo studio degli *astri*. Essa comprende l'insieme delle cognizioni che si poterono acquistare circa i movimenti, le dimensioni, le distanze e la fisica costituzione di questi corpi.

Astri. In generale si appellano *astri* il sole, la luna e tutti i corpi scintillanti che, durante una notte serena, si veggono disseminati nel cielo. Gli astri si possono ridurre a tre classi. Pochi di essi girano intorno al sole, e questi si dicono *pianeti*. Ve ne sono alcuni che appariscono di quando in quando, mostrano di avere un movimento proprio, variano sensibilmente nella grandezza apparente e nello splendore, e poscia si occultano di nuovo: a simili astri si è dato il nome di *comete*. Tutti gli altri compresovi anche il sole, si chiamano *stelle*.

736. **Pianeti**. I pianeti si suddistinguono in *primarj* e *secondarj*. Si dicono primarj quelli che girano intorno al sole in orbite ellittiche, e secondarj o satelliti, gli altri che accompagnano i primi, movendosi intorno a loro. I pianeti primarj, conosciuti attualmente (alla fine del 1866) sono 99. Otto di essi superano per molto gli altri nella grandezza, e cominciando dai più vicini al sole, sono: *Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno, Urano* e *Nettuno*. I primi due, compresi fra il sole e la terra, si chiamano *interiori*, e gli ultimi cinque si dicono *esteriori*. Tutti gli altri, che si indicano col nome comune di *pianetini*, si trovano fra Marte e Giove. I satelliti sono 22, uno dei quali accompagna la terra, ed è la *Luna*, quattro seguono Giove, otto vanno in giro a Saturno, otto sono parimenti quelli di Urano, e l'ultimo appartiene a Nettuno. Poniamo qui l'elenco dei pianetini. Essi hanno ricevuto un nome proprio, ma d'ordinario si distinguono col numero che loro corrisponde in ordine di scoperta.

PIANETINI.

Numero d'ordine cronolog.	NOME		EPOCA della scoperta
	del pianetino	dello scopritore	
1	Cerere	Piazzi	1 Gennajo 1801
2	Pallade	Olbers	28 Marzo 1802
3	Giunone	Harding	1 Settembre 1804
4	Vesta	Olbers	29 Marzo 1807
5	Astrea	Hencke	8 Dicembre 1845
6	Ebe	Hencke	1 Luglio 1847
7	Iride	Hind	13 Agosto 1847
8	Flora	Hind	18 Ottobre 1847
9	Meti	Graham	25 Aprile 1848
10	Igea	De Gasparis	12 Aprile 1849
11	Partenope	De Gasparis	11 Maggio 1850
12	Vittoria	Hind	13 Settembre 1850
13	Egeria	De Gasparis	12 Novembre 1850
14	Irene	Hind	19 Maggio 1851
15	Eunomia	De Gasparis	29 Luglio 1851
16	Psiche	De Gasparis	17 Maggio 1852
17	Teti	Luther	17 Aprile 1852
18	Melpomene	Hind	24 Giugno 1852
19	Fortuna	Hind	22 Agosto 1852
20	Massaglia	De Gasparis	19 Settembre 1852
21	Lutezia	Goldschmidt	15 Novembre 1852
22	Calliope	Hind	16 Novembre 1852
23	Talia	Hind	15 Dicembre 1852
24	Temi	De Gasparis	5 Aprile 1853
25	Focea	Chacornac	6 Aprile 1853
26	Proserpina	Luther	5 Maggio 1853
27	Euterpe	Hind	8 Novembre 1853
28	Bellona	Luther	1 Marzo 1854
29	Amfitrite	Marth Pogson	1 Marzo 1854 1 Marzo 1854
30	Urania	Hind	22 Luglio 1854
31	Eufrosina	Ferguson	1 Settembre 1854
32	Pomona	Goldschmidt	26 Ottobre 1854
33	Polinnia	Chacornac	28 Ottobre 1854
34	Circe	Chacornac	6 Aprile 1855
35	Leucotea	Luther	19 Aprile 1855
36	Atalanta	Goldschmidt	5 Ottobre 1855
37	Fede	Luther	5 Ottobre 1855
38	Leda	Chacornac	12 Gennajo 1856
39	Letizia	Chacornac	8 Febbrajo 1856
40	Armonia	Goldschmidt	31 Marzo 1856
41	Dafne	Goldschmidt	22 Maggio 1856
42	Iside	Pogson	23 Maggio 1856
43	Arianna	Pogson	15 Aprile 1857
44	Nisa	Goldschmidt	27 Maggio 1857
45	Eugenia	Goldschmidt	28 Giugno 1857

Numero d'ordine cronolog.	NOME		EPOCA della scoperta
	del pianetino	dello scopritore	
46	Estia	Pogson	16 Agosto 1857
47	Aglaia	Luther	15 Settembre 1857
48	Dori	Goldschmidt	19 Settembre 1857
49	Pale	Goldschmidt	19 Settembre 1857
50	Virginia	Ferguson	4 Ottobre 1857
51	Nemausa	Laurent	22 Gennajo 1858
52	Europa	Goldschmidt	4 Febbrajo 1858
53	Calipso	Luther	4 Aprile 1858
54	Alessandra	Goldschmidt	11 Aprile 1858
55	Pandora	Searle	10 Settembre 1858
56	Melete (Pseudodafne)	Goldschmidt	9 Settembre 1859
57	Mnemosina	Luther	22 Settembre 1859
58	Concordia	Luther.	24 Marzo 1860
59	Olimpia	Chacornac	15 Settembre 1860
60	Eco (Titania)	Ferguson	15 Settembre 1860
61	Danae	Goldschmidt	19 Settembre 1860
62	Erato	Forster e Lesser	14 Settembre 1860
63	Ausonia	De Gasparis	11 Febbrajo 1861
64	Angelina	Tempel	6 Marzo 1861
65	Massimiliana	Tempel	10 Marzo 1861
66	Maia	Tuttle	10 Aprile 1861
67	Asia	Pogson	18 Aprile 1861
68	Leto	Luther	29 Aprile 1861
69	Panope	Schiapparelli	29 Aprile 1861
70	Esperia	Goldschmidt	5 Maggio 1861
71	Niobe	Luther	13 Agosto 1861
72	Feronia	Peters	29 Gennajo 1862
73	Clizia	Tuttle	7 Aprile 1862
74	Galatea	Tempel	29 Agosto 1862
75	Euridice	Peters	22 Settembre 1862
76	Freia	D'Arrest	14 Novembre 1862
77	Frigga	Peters	15 Novembre 1862
78	Diana	Luther	15 Marzo 1863
79	Eurinome	Watson	14 Settembre 1863
80	Saffo	Pogson	2 Maggio 1864
81	Tersicore	Tempel	20 Settembre 1864
82	Alcmena	Luther	27 Novembre 1864
83	Beatrice	De Gasparis	26 Aprile 1865
84	Clio	Luther	25 Agosto 1865
85	Jo	Peters	19 Settembre 1865
86	Semele	Tietjen	4 Gennajo 1866
87	Silvia	Pogson	16 Maggio 1866
88	Tisbe	Peters	15 Giugno 1866
89	. . .	Stephan	6 Agosto 1866
90	Antiope	Luther	1 Ottobre 1866
91	. . .	Stephan	4 Novembre 1866

737. **Comete**. D'ordinario le comete hanno l'apparenza di un piccolo cerchio luminoso, detto il *nucleo,* accompagnato da una atmosfera meno splendida, la quale ora è quasi regolarmente distribuita intorno al nucleo, ed ora invece lo precede o lo segue per la massima parte. Nel primo caso le comete si chiamano *crinite* o *chiomate;* nel secondo si dicono *barbute,* e nell'ultimo *caudate.* Prima della scoperta dei cannocchiali, le comete si scorgevano di rado; ma adesso se ne osservano parecchie in ogni anno. Di esse alcune appajono ad intervalli più o meno lunghi, e s'appellano *periodiche;* ed altre no, o per lo meno non si conoscono come tali. Poche son quelle certamente periodiche: le più importanti si riducono alle seguenti.

Nome della cometa	Periodo in giorni
Encke	1205
Vico	1993
Brorsen	2042
Faye	2718
Halley	27865

La cometa Vico però probabilmente disparve, come già avvenne di altre comete. Lo stesso pare che si debba dire anche di una cometa, detta la *Biela,* la quale apparve dapprima col nucleo di forma oblunga, e poscia con meraviglia degli astronomi cambiò forma: il nucleo si divise in due parti, che continuarono a camminare nella stessa atmosfera della cometa. Dessa era riconosciuta come periodica: gli astronomi la aspettavano nel 1859, ma non ostante l'ottima effemeride del signor Santini, non poterono scorgerla; doveva ritornare nell'inverno 1865-66: si moltiplicarono le osservazioni usando potentissimi strumenti, ed anche questa volta pare che non sia stata veduta.

738. **Diverse specie di stelle**. Gli astronomi convennero di distinguere le stelle in varie classi, a seconda dello *splendore* e della *grandezza* che mostrano. Le più grandi e più lucide si appellano stelle di *prima grandezza;* le più piccole e meno splendide fra quelle che sono visibili ad occhio nudo, si chiamano *di sesta grandezza;* e le altre intermedie, giusta l'ordine di grandezza apparente, si dicono di *seconda*, di *terza*, di *quarta* e *quinta grandezza.* Le stelle poi che si scorgono solo col sussi-

dio del telescopio, denominate *stelle telescopiche,* si indicano coi nomi di *settima,* di *ottava,* di *nona* e *decima grandezza.*

Quanto alla *posizione relativa* od *alla durata* della loro apparenza, le stelle s'appellano *fisse, temporanee, perdute* e *cadenti.* Quasi tutte le stelle conservano una posizione relativa sensibilmente costante, non solo nel periodo di una notte, ma per anni ed anche per secoli, e per ciò si dicono *fisse.* Propriamente si movono esse pure, ma il loro moto è così lento per chi li guarda dalla terra, che per scoprirlo abbisognarono osservazioni delicatissime. Ma vi furono stelle che apparirono improvvise nel cielo, e poi dopo qualche tempo scomparvero; queste sono appellate *temporanee.* Si osservò anche che alcune stelle note agli antichi cessarono di splendere, ossia sono *perdute.* Tutti poi avrete visto, specialmente nelle notti di luglio e d'agosto, punti brillanti affatto simili a stelle che si movono rapidamente nel cielo, e tosto spariscono. Si indicano questi corpi col nome di *stelle filanti* o *stelle cadenti,* perchè all'occhio appajono come tali.

Finalmente le stelle, rispetto alle altre loro apparenze, si distinguono in *semplici, multiple, nebulose* e *varianti.* Una stella che, anche osservata coi più potenti telescopj, appare costantemente unica, è detta *semplice,* per distinguerla da altre, chiamate *multiple,* le quali, mentre appariscono come semplici a chi le osserva ad occhio nudo, si risolvono in due, tre, o più stelle, quando sono guardate con un buon telescopio. La via lattea a chi la osserva col telescopio si manifesta formata da una moltitudine di piccole stelle. Parimenti alcune macchie, simili a nuvolette bianche, che si veggono non di rado guardando il cielo ad occhio nudo, mirate con forti telescopj si risolvono in tante stelle distinte, ma poste le une accanto alle altre, e dette per ciò *grappoli di stelle.* Le stelle *multiple* possono essere doppie, triple, quadruple, ecc. Chicchessia capisce che due stelle ci appariranno vicinissime in due casi, cioè: quando sono realmente poco discoste, ed anche allora che, essendo pure lontane nello spazio, si trovano press'a poco sulla medesima nostra visuale. Nel primo caso il loro gruppo si appella *doppio fisicamente,* e nell'altro *doppio otticamente.* Si potrà asserire che una stella è doppia fisicamente, se le due che la compongono hanno un movimento comune, oppure se l'una mostra di girare intorno all'altra. D'ordinario, le due stelle del gruppo sono diversamente splendide, e spesse volte indicano anche una notevole differenza di colore.

Un'altra particolarità di alcune stelle è di comparire circondate da un'atmosfera lucida. Esse furono distinte col nome di

nebulose, e diconsi *planetarie* se non offrono differenza alcuna di splendore in tutta la loro superficie, o *stellari* se la loro chiarezza decresce dal centro alla periferia: le prime sono spesse volte di forma ovale, e le altre invece hanno generalmente l'aspetto circolare.

Ci rimane a dire delle stelle *cangianti* o *varianti*. Si chiamano così quelle fra loro che mutano nella chiarezza od anche nel colore. Talvolta esse passano periodicamente da un massimo ad un minimo di splendore, o da una tinta ad un'altra, in un tempo più o meno lungo; si dice pertanto che le stelle cangianti *periodiche* sono a *breve* od a *lungo* periodo.

739. **Sfera celeste — costellazioni**. Il complesso delle stelle fisse, quale si mostra a chi lo guarda dalla terra, si chiama *sfera celeste;* e venne diviso in diversi gruppi che si appellano *costellazioni*. Le costellazioni si distinguono in *boreali* ed *australi*, a seconda che corrispondono all'uno od all'altro emisfero: molte hanno ricevuto dagli antichi un nome mitologico o quello di un animale; ed alle altre gli astronomi moderni imposero i nomi di grandi personaggi o di strumenti fisici e matematici. Indicheremo brevemente come si possano rinvenire le principali.

Costellazioni boreali. Qualche ora dopo il tramonto, in una sera, nella quale il cielo sia sereno, l'osservatore rivolto al nord, cerchi quel gruppo di sette ben distinte stelle (fig. 745),

Fig. 745.

quattro delle quali sono distribuite in modo che si possono considerare come nei vertici degli angoli di un quadrilatero, e le altre tre in linea alquanto curva. Questa costellazione è chiamata volgarmente *Carro*, di cui le prime quattro stelle figurano le ruote, le tre ultime il timone; ma dagli astronomi è detta *Orsa Maggiore;* ed il timone dicesi anche *coda*. Se si immagina prolungata la retta, che ha i termini nelle due ruote posteriori, dalla parte ove il timone volge la convessità, questa retta incontrerà un'altra stella, che si chiama *stella polare*, e che, prima dell'in-

venzione della bussola, serviva ai naviganti come di punto fisso, onde riconoscere la direzione secondo cui si movevano in alto mare. È questa stella principio del timone del *Piccolo Carro* o dell' *Orsa Minore,* altra costellazione di sette stelle disposte in ordine quasi contrario a quello delle prime, ma di minore grandezza, tranne la stella polare e le due delle ruote posteriori, dette anche due *guardie.* La retta, che si può concepire condotta per queste guardie, incontra, dalla parte della convessità del timone, la testa del *Drago* formata da quattro stelle disposte ai quattro vertici di un rombo: l'ultima della coda di questa costellazione si trova in linea retta colle due ruote anteriori del maggior carro, dal lato medesimo della convessità del timone. Che se congiungesi, mediante una retta, la stella polare colla più lontana delle guardie, e si eleva su questa una perpendidolare, essa andrà ad incontrare prima il *Cinto di Cefeo,* e poi raggiungerà la spalla sinistra della stessa costellazione.

Se ora s'imagina una retta passante per la prima stella della coda dell'orsa maggiore, e per la stella polare, questa prolungata, passerà frammezzo a sei stelle assai lucenti disposte a figura di una seranna rovesciata, e queste sono le principali della costellazione *Cassiopea.* Un'altra costellazione è all'oriente di essa, detta *Perseo,* ove scintilla il bellissimo *Cinto.* L'*Auriga* o *cocchiere* è un pentagono irregolare, che nella parte settentrionale racchiude una stella delle più risplendenti del cielo, detta *Capra Amaltea. Arturo* è la seconda di queste, ed è la principale della costellazione di *Boote* o *Boaro,* che si trova sul prolungamento della coda dell'orsa maggiore: la *Lira* è la terza, che colla precedente e colla polare determina un triangolo rettangolo, di cui essa tiene il vertice orientale. La *Giraffa* è una costellazione formata di piccole stelle comprese nello spazio, fra le due orse, Cassiopea, Perseo ed Auriga. La *Lince* è situata tra l'auriga e l'orsa maggiore; la *Chioma di Berenice* è un gruppo di piccole stelle assai prossime tra loro, e non molto discoste dall'ultima e dalla coda dell'orsa maggiore. A queste aggiungansi l'*Aquila,* il *Delfino,* il *Cigno,* il *Serpente,* l'*Ercole,* ecc.

Costellazioni australi. Se volgiamo lo sguardo al sud, nelle sere dei mesi di gennajo o di febbrajo, vediamo una grande costellazione, chiamata *Orione.* Essa consta di sette stelle (fig. 746), delle quali quattro formano i vertici di un gran quadrilatero e tre sono poste entro di esso e formano il *cinto di Orione.* Le due stelle più settentrionali diconsi le *spalle,* e le due più basse le *coscie.* La coscia occidentale è la quarta stella tra le più brillanti, e si chiama *Rigel.* La direzione del predetto cinto

incontra ad oriente la stella *Sirio*, che è la quinta stella in grandezza, la più splendente del cielo, e la principale della costellazione *Cane Maggiore*. Incontra eziandio verso occidente le *Plejadi*, che sono varie stelle in un gruppo facili a distinguersi, e che i contadini chiamano la *Chioccia*. Le Plejadi sono sul dorso del *Toro*, un occhio del quale è la sesta delle più grandi e più fulgide stelle, ed ha per nome *Aldebaran*. *Procione* od il *piccolo cane* tra le maggiori è la settima, ed è posta al nord di Sirio e più all'oriente della costellazione di Orione. La media del cinto di questa e le due già indicate sono come ai vertici di un triangolo quasi equilatero. Altre costellazioni sono pure la *Lepre*, l'*Idra*, il *Centauro*, l'*Eridano*, il *Quadrato di Pegaso*, la *Balena*, il *Telescopio*, ecc., ecc.

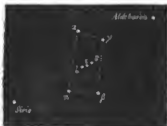



Fig. 746.

Fra le costellazioni vanno distinte particolarmente quelle dodici che formano lo *zodiaco*, ossia la zona della sfera celeste, larga per 18°, nella quale sembrano moversi il sole e la maggior parte dei pianeti. Queste costellazioni sono egualmente lunghe, ed hanno i seguenti nomi: *ariete, toro, gemelli, cancro, lione, vergine, libra* o *bilancia, scorpione, sagittario, capricorno, acquario e pesci.*

ARTICOLO PRIMO

MOTI APPARENTI DEGLI ASTRI.

740. **Ordine da tenersi nello studiare il moto degli astri**. Il primo lavoro che l'uomo ha dovuto compiere per scoprire le vere leggi dei movimenti degli astri, fu di osservare come apparissero a lui questi movimenti, notandone tutte le circostanze, tanto generali come particolari. Dopo ciò, gli convenne cercare le cause che possono concorrere a farci apparire i movimenti degli astri diversi da quel che sono: fu necessario sottoporre al calcolo i risultati dell'osservazione, onde separare l'apparente dal vero, cioè quello che è l'effetto d'illusione ottica da ciò che realmente avviene; sicchè nulla si ammettesse di ripugnante fra l'osservazione e le leggi inconcusse di meccanica. Il calcolo dipende dall'osservazione; e non potendosi in astronomia far uso dell'esperienza per verificare l'osservazione, si capisce

quanto importi che questa sia esatta e completa. Per ciò, vi espongo, innanzi tutto, i movimenti degli astri, non quali sono, ma come ci appariscono: se capiremo bene l'apparenza potremo facilmente comprendere la realtà. Mi pare questo l'ordine il più opportuno, onde la trattazione di questa materia riesca facile e chiara. Ma dall'altra parte temo che il principiante si fabbrichi un sistema diverso dal vero, che dovrà poi distruggere in seguito. Non si dimentichi dunque che qui si tratta di apparenze; e si nutra il desiderio di sapere come le cose siano davvero.

741. **Orizzonte**. Ad un osservatore, posto sulla superficie della terra, pare che il piano, sul quale si trova, si estenda indefinitamente per ogni parte, e la porzione di sfera celeste che gli è visibile appoggi sopra questo piano. Il contorno circolare, ossia l'apparente intersezione del piano medesimo colla sfera celeste, chiamasi orizzonte *sensibile* o *terrestre*. È chiaro che questa circonferenza ha per centro l'occhio dell'osservatore. Appellasi invece *orizzonte razionale* la circonferenza che ha il centro in quello della terra, ed è parallela all'orizzonte sensibile. Il punto in cui la superficie della sfera celeste sarebbe toccata dalla verticale dell'osservatore, ossia dalla perpendicolare elevata dal centro dell'orizzonte, si dice lo *zenit* dell'osservatore medesimo; mentre chiamasi *nadir* il punto della sfera celeste diametralmente opposto a quello. Lo *zenit* ed il *nadir* si denominano i due poli dell'orizzonte.

742. **Moto apparente diurno della sfera celeste**. Se da un punto qualunque del globo terracqueo, in una notte serena, si sta per alcune ore ad osservare la volta celeste, si scorge che le stelle, di cui essa è gremita, mostrano di moversi concordemente, proprio come se, essendo tutte attaccate alla superficie di una sfera, nel cui centro fosse situata la terra, questa sfera rotasse, da oriente ad occidente, intorno al diametro di un punto poco discosto dalla stella polare (739), e compisse un giro in 24 ore circa. Questo punto appellasi il *polo artico, boreale* o *settentrionale* della sfera celeste; l'altro estremo di quel diametro dicesi il polo *antartico, australe* o *meridionale;* ed al diametro stesso si dà il nome di *asse del mondo.* Le circonferenze apparentemente percorse dalle stelle nel movimento descritto, le quali appartengono a circoli perpendicolari all'asse del mondo, ed hanno tutte il centro in questa medesima linea, s'appellano i *paralleli celesti.* La loro grandezza diminuisce colla distanza dai poli; ed il parellelo intermedio, più grande di tutti, si chiama l'*equatore celeste.* È inutile dire ch'esso divide la sfera celeste in due parti eguali: l'una ha ricevuto il nome *d'emisfero boreale,* e l'altra

d'emisfero australe. Le circonferenze che, passando pei poli del mondo, tagliano perpendicolarmente i paralleli, diconsi i *meridiani celesti.* Il meridiano che incontra lo zenit di un osservatore è il meridiano celeste del luogo ove si trova l'osservatore stesso. Chiechessia capisce che il meridiano celeste di un paese qualsivoglia bipartisce la porzione della sfera celeste ivi visibile: ebbene l'una chiamasi *orientale*, e l'altra *occidentale*, a seconda della posizione. Finalmente è da sapersi che gli astronomi appellano *altezza polare di un luogo* l'arco del meridiano corrispondente, dal quale viene misurata la distanza dell'orizzonte dal polo ivi visibile.

Abitatori della sfera retta — parallela — obliqua. Il descritto movimento diurno della sfera celeste si manifesta a tutti gli abitatori della terra; ma già s'intende che l'apparenza non deve essere proprio identica per tutti. Coloro che sono ai poli della terra hanno l'orizzonte HH′ (fig. 747) parallelo all'equatore; e quindi per essi gli astri non sorgono nè tramontano, ma girano continuamente lungo circonferenze parallele all'orizzonte stesso. Invece gli abitanti dei paesi situati sull'equatore terrestre mirano gli astri moversi in direzione perpendicolare al loro orizzonte HH′ (fig. 748). I primi non veggono che gli astri dell'emisfero loro corrispondente, e si dicono abitatori della *sfera parallela*, e gli altri possono scorgere quasi tutti gli astri in ogni periodo, ma appena per la metà del giro, e si chiamano abitatori della *sfera retta.* Ma la maggior parte degli uomini abita la porzione della superficie terrestre compresa tra i poli e l'equatore, e per conseguenza ha l'orizzonte HH′ (fig. 749) obliquo ai paralleli celesti, ossia si trova nella *sfera*

Fig. 747.

Fig. 748. Fig. 749.

obliqua. Descriveremo pertanto i movimenti degli astri quali appariscono a questi ultimi. Si dice che un astro ha movimento *diretto,* quando sembra camminare da occidente verso oriente, o *retrogrado* se tiene la direzione contraria.

Moto apparente diurno del sole. Il sole, nel periodo di 24 ore circa, come le altre stelle, percorre apparentemente un parallelo della sfera celeste. Se però per parecchi giorni successivi si osservano le stelle che più da vicino precedono il sole alla mattina, o lo seguono alla sera, si scorge che questo astro ritarda ogni giorno. Pare insomma che il sole mentre è apparentemente portato dalla sfera celeste, che ruota intorno al proprio asse da oriente ad occidente, scorra sulla sfera medesima in verso contrario, di circa un grado per ogni giorno. Scaturisce di qui che il sole, per fare il giro compiuto del cielo stellato, nel suo moto diurno apparente, impiega circa quattro minuti più di tempo che le altre stelle. Gli astronomi pertanto chiamano *giorno sidereo* l'intervallo di tempo che passa tra due passaggi consecutivi di una stella per un determinato meridiano; ed appellano *giorno solare,* od *astronomico,* l'intervallo di tempo che scorre fra due passaggi consecutivi del sole per un medesimo meridiano; mentre dicesi giorno *naturale,* o *civile,* il tempo compreso fra la levata ed il tramonto del sole.

Una cosa che non bisogna perdere di vista è che il sole nell'apparente suo spostamento da occidente ad oriente non percorre già l'arco di un parallelo, ma una linea più o meno inclinata alla direzione dei paralleli; sicchè mentre ritarda ogni giorno di quattro minuti circa, cambia, generalmente parlando, anche i punti dell'orizzonte ove sorge e tramonta.

745. **Ineguaglianze dei giorni siderei dagli astronomici, e di questi fra loro**. Da quanto abbiam detto si cava la conseguenza che il giorno sidereo è più breve dell'astronomico; ma non si creda che la differenza sia proprio costantemente di quattro minuti, giacchè il sole ora appare moversi più presto, ed ora più tardi. Per ciò, anche i giorni astronomici riescono diseguali. Ad accrescere poi od a diminuire simili differenze concorre un'altra circostanza, cioè la diversa obliquità, più sopra accennata, che ha rispetto all'equatore la linea apparentemente percorsa dal sole nel suo ritardo. Chi riflette a ciò indovina che, quando il sole mostra di spostarsi lungo una linea molto inclinata all'equatore, il tempo che impiega a raggiungere il meridiano deve essere maggiore di quello che, a pari circostanze, è necessario onde arrivi al meridiano stesso per una linea parallela all'equatore; giacchè questa è più breve di quella.

La media delle differenti lunghezze del giorno solare in un anno s'appella *giorno medio;* e la ventiquattresima parte del giorno medio costituisce l'*ora media.* Di qui nasce la distinzione del tempo in *vero* e *medio.* L'uno differisce più o meno dall'altro, a seconda che gli effetti delle due circostanze indicate riescono concordanti o contrarj. La differenza fra il tempo medio ed il tempo vero chiamasi *equazione del tempo.* Qui sotto vi sono offerti i numeri dei minuti primi, di cui il tempo medio *avanza* o *ritarda,* in ordine al tempo vero nel periodo di un anno.

Giorni	Gennajo	Febbrajo	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
	Av.	Av.	Av.	Av.	Rit.	Rit.	Av.	Av.	Av.	Rit.	Rit.	Rit.
1	3	14	13	4	3	3	3	6	—	10	16	11
2	4	14	13	4	3	3	3	6	—	10	16	11
3	4	14	12	4	3	2	4	6	Rit.1	11	16	10
4	5	11	12	3	3	2	4	6	1	11	16	10
5	5	14	12	3	3	2	4	6	1	11	16	9
6	6	14	12	3	4	2	4	6	1	12	16	8
7	6	15	11	2	4	2	4	5	2	12	16	8
8	7	15	11	2	4	2	4	5	2	12	16	8
9	7	15	11	2	4	1	5	5	2	12	16	8
10	8	15	11	2	4	1	5	5	3	13	16	7
11	8	15	10	1	4	1	5	5	3	13	16	7
12	8	15	10	1	4	1	5	5	4	13	16	6
13	9	15	10	—	4	1	5	5	4	14	16	6
14	9	15	10	—	4	—	5	5	4	14	15	5
15	10	14	9	—	4	—	5	5	5	14	15	5
16	10	14	9	—	4	—	6	5	5	14	15	4
17	10	14	9	—	4	—	6	4	5	14	15	4
18	10	14	8	Rit.1	4	—	6	4	6	13	15	3
19	11	14	8	1	4	Av.1	6	4	6	15	15	3
20	11	14	8	1	4	1	6	3	6	15	14	2
21	12	14	8	1	4	1	6	3	7	15	14	2
22	12	14	7	1	4	1	6	3	7	15	14	1
23	12	14	7	2	4	2	6	3	7	15	14	1
24	12	14	7	2	4	2	6	2	8	16	13	—
25	13	14	6	2	4	2	6	2	8	16	13	—
26	13	14	6	2	3	2	6	2	8	16	13	Av.1
27	13	14	6	2	3	2	6	2	9	16	12	1
28	13	13	5	3	3	3	6	1	9	16	12	2
29	13	13	5	3	3	3	6	1	9	16	12	2
30	14	13	5	3	3	3	6	1	10	16	12	3
31	14	13	—	—	3	—	6	—	—	16	—	3

Tutti sanno che il tempo vero è misurato dagli orologi solari. Perchè uno di questi orologi serva anche ad indicare l'istante del mezzogiorno medio, bisogna tracciarvi, intorno alla meridiana (fig. 750), la linea che passa per le estremità delle perpendicolari alla meridiana stessa, che possono rappresentare sul piano dell'orologio le quantità di cui il tempo medio ritarda o anticipa ogni giorno rispetto al tempo vero. Questa coincide in tre punti colla meridiana, ed ha la forma di un otto; giacchè il tempo medio coincide col vero quattro volte in ogni anno. All'istante del mezzogiorno medio il disco illuminato *a* cade su questa linea, che perciò appellasi *meridiana del tempo medio*.

Fig. 750.

744. **Moto apparente annuo del sole.** Se il sole in apparenza viene a trasportarsi rispetto alle stelle, per ogni giorno di circa un grado verso oriente, in direzione più o meno inclinata all'equatore celeste, è manifesto che alla fine di 360 giorni circa avrà compito un giro intero della sfera celeste. La linea

ABCD (fig. 751), che riesce così apparentemente percorsa dal sole in un anno, differisce poco da una circonferenza massima della sfera celeste, e si chiama *eclittica*. Il piano di questa linea è inclinato sull'equatore AECE di un angolo di 23°, 31′. I punti nei quali l'eclittica incontra l'equatore sono denominati i due *nodi dell'eclittica*. Dicesi *ascendente* quello per cui passa il sole venendo dall'emisfero australe al boreale; e *discendente* l'altro. Il diametro della sfera celeste perpendicolare al piano dell'eclittica chiamasi *asse* di questa linea; ed i punti

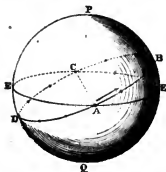



Fig. 751.

estremi dell'asse sono i *poli dell'eclittica*. Si è convenuto di dividere l'eclittica in dodici parti eguali, partendo dal nodo ascendente. A queste parti, dette *segni dell'eclittica*, si danno per ordine i nomi delle costellazioni dello *zodiaco*.

Il sole arriva al nodo ascendente, ossia entra apparentemente nel segno dell'ariete, verso la fine di marzo. Da questo punto in poi, per tre mesi circa, continua ad allontanarsi dall'equatore nell'emisfero boreale; finchè, percorsi i tre segni *ariete, toro* e *gemelli*, torna indietro per l'altro quarto di eclittica situato nel medesimo emisfero, passando nei segni *cancro, leone* e *vergine*. Al finire di settembre, abbandona così l'emisfero boreale, ed incomincia a percorrere l'altra metà dell'eclittica che si trova nell'emisfero australe. Lungo i tre segni *libra, scorpione* e *sagittario*, ossia nei tre mesi successivi, il sole si scosta dall'equatore, ed invece si avvicina di bel nuovo nel traversare i tre segni restanti *capricorno, acquario* e *pesci*. I due paralleli che passano pel cancro e pel capricorno furono distinti col nome di *tropici* (derivato dal greco *τρεπω* — volgere), appunto per indicare che il sole, arrivato ad essi, mostra di volgere indietro. Questo cambiamento di direzione del sole, nel suo moto lungo la sfera celeste, non si manifesta che in capo a qualche tempo; ma per alcuni giorni non mostra nè di allontanarsi nè tampoco di avvicinarsi all'equatore; quindi i due punti dell'eclittica più lontani dai nodi, ossia i punti d'intersezione dell'eclittica coi tropici, si appellano i *solstizj*. Il solstizio del cancro, ove il sole appare in estate, dicesi *solstizio d'estate*, e l'altro chiamasi *solstizio d'inverno*.

745. **Ineguaglianza dei giorni naturali e delle notti nelle varie latitudini — stagioni.** Ora siamo in grado di

comprendere come varii la lunghezza dei giorni naturali nelle diverse latitudini, e nelle diverse epoche dell' anno. Per capire questa cosa, conviene fissarci bene in mente che il sole nel periodo di dodici mesi percorre in apparenza, ed approssimativamente per due volte i paralleli celesti compresi fra i tropici. Di qui scaturisce la conseguenza che per gli abitatori della sfera retta, il cui orizzonte divide per metà tutti i paralleli celesti, il giorno naturale e la notte debbono essere costantemente eguali alla metà del giorno solare, e quindi eguali anche tra loro. Invece per gli abitatori della sfera parallela il giorno naturale deve durare sei mesi, ed altrettanto la notte; giacchè il sole sta prossimamente sei mesi al dissopra e sei mesi al dissotto del loro orizzonte, che press' a poco coincide coll' equatore. Negli altri punti della terra i giorni naturali sono egualmente lunghi della notte, quando il sole sembra moversi lungo l'equatore, ossia allorchè passa nei nodi. Perciò questi due punti si dicono anche i *punti equinoziali*, o gli *equinozj:* il nodo ascendente dicesi *equinozio di primavera,* ed il nodo discendente *equinozio d'autunno.* Nel rimanente dell'anno i giorni naturali e le notti qui hanno sempre diversa lunghezza, perchè l'orizzonte divide in due parti ineguali i paralleli celesti. Gli abitanti della zona torrida e delle zone temperate hanno tanti giorni naturali, e per conseguenza altrettante notti, quanti sono i giorni solari, perchè il loro orizzonte interseca ambedue i tropici. I giorni naturali in questi paesi sono più lunghi delle notti quando il sole appare nel loro emisfero, perchè quegli archi dei paralleli percorsi dal sole, che stanno al dissopra del loro orizzonte, sono più lunghi di quelli che sono al dissotto. Per la ragione contraria, le notti riescono loro più lunghe dei giorni naturali, se il sole è nell'emisfero opposto. Chi poi si trovasse presso i limiti che separano le zone temperate dalle glaciali, nell' estate godrebbe di un giorno naturale lungo quanto un giorno solare, e nell' inverno avrebbe una notte simile; perchè l'orizzonte di costui disterebbe dal polo di 23° e mezzo, e per conseguenza toccherebbe in un punto solo il tropico dell' altro emisfero. I paralleli che distano di 23° e mezzo dai poli, e comprendono così gli orizzonti di tutti i paesi nei quali il numero dei giorni naturali in un anno eguaglia quello dei giorni solari, si chiamano *circoli polari*. Il circolo polare dell'emisfero boreale è detto *circolo polare artico,* e quello dell' altro emisfero si indica col nome del polo opposto. È inutile che io vi dica come, andando dalle zone temperate ai poli, il numero dei giorni naturali nell'anno, e per conseguenza anche delle notti, va sempre diminuendo.

Dopo ciò, s'indovinano facilmente le cause generali dei diversi climi alla superficie della terra, e della varia temperatura, che uno stesso paese mostra nelle quattro stagioni dell'anno. Queste cause sono due: la direzione dei raggi solari rispetto alla superficie riscaldata; e la differenza di lunghezza fra il giorno naturale e la notte. I raggi solari percuotono i paesi polari in direzione molto obliqua; invece i medesimi raggi arrivano quasi sempre in direzione poco lontana dalla normale ai paesi che stanno presso l'equatore; quindi il loro effetto è molto diverso (424). Lo stesso principio si applichi per spiegare la differenza fra la temperatura di un luogo in estate, e quella a cui si trova nel verno. Si badi inoltre che laddove i giorni riescono più lunghi delle notti, la terra alla fine delle 24 ore verrà a ricevere una quantità di calorico maggiore di quella che avrà irradiato, e quindi la temperatura di essa andrà successivamente aumentando, di giorno in giorno, fino ad un certo limite.

Precessione degli equinozj. I nodi dell'eclittica, ossia i due equinozj, non compariscono in una posizione costante rispetto alle stelle, ma si spostano verso occidente, ossia con moto retrogrado. Questo movimento retrogrado dei nodi chiamasi *precessione degli equinozj.* Per ciò, il sole compie nell'eclittica più presto il giro in ordine agli equinozj, che non rispetto alle stelle fisse; cioè il sole, che principia il suo giro all'equinozio di primavera, nell'anno successivo arriva al medesimo punto prima d'aver percorsa tutta l'eclittica. Onde vi facciate un'imagine di questo fenomeno, supponete che P (fig. 752) sia il polo artico del mondo, EE rappresenti l'equatore celeste, e BD l'eclittica. Figuratevi che K sia il polo dell'eclittica nell'emisfero boreale, ed il polo P del mondo giri intorno al polo K, in verso contrario al movimento del sole, e passi successivamente alle posizioni P′, P″... La conseguenza immediata di questo movimento sarà che l'equatore dovrà abbassarsi col polo, e dalla posizione EE passare all'altra E′E′; sicchè anche il nodo che prima era in A, apparirà poscia in A′. Se pertanto supponiamo che il sole incominci da A il suo giro, è chiaro che nell'anno successivo incontrerà l'equatore in A′, ossia ritornerà all'equinozio di primavera prima di aver percorsa proprio tutta l'eclittica.

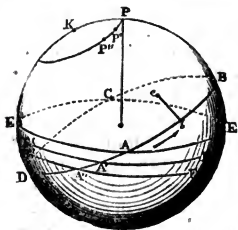



Fig. 752.

La precessione degli equinozj si calcola di 50″,2 per ogni

anno: converrebbe che trascorressero cirça 26 mila anni perchè l'equinozio, apparendo sempre di spostarsi colla medesima velocità, compisse l'intiero giro dell'eclittica. Per effetto di questa precessione degli equinozj, le costellazioni dello zodiaco non coincidono più, come una volta, coi segni dell' eclittica dello stesso nome. Anticamente l'equinozio di primavera corrispondeva col principio della costellazione dell'ariete; ed ora invece appare là dove incomincia la costellazione dei pesci. Non si confondano pertanto i segni dell'eclittica colle costellazioni dello zodiaco.

746. **Anno solare sidereo — e tropico**. Si chiama *anno solare sidereo* l'intervallo di tempo che vi ha tra due passaggi successivi del sole per una medesima posizione, relativamente alle stelle fisse; e dicesi *anno solare tropico* il tempo che scorre fra due incontri successivi del sole coll'equinozio di primavera. Per effetto della precessione degli equinozj, l'anno sidereo è più lungo dell'anno tropico. Il primo è di 365 giorni, 6 ore, 9 minuti primi, 11 secondi e 7 decimi di secondo; e l'altro dura 365 giorni, 5 ore, 48 minuti e 48 secondi.

Anno civile. L'anno tropico è quello che regola le stagioni, e per conseguenza anche l'anno *civile*, che ha la stessa lunghezza, ma principia col primo di gennajo, e non col ventuno di marzo. Da principio si riteneva l'anno tropico di 365 giorni, diviso in 12 mesi, quattro di 30 giorni, 7 di 31, ed il febbrajo di 28 giorni. Ma si trascurava poco meno di un quarto di giorno per anno, ed in poco più di quattro anni si trascurava un giorno. Per ciò, il corso delle stagioni a poco a poco si sarebbe talmente alterato che quei mesi, i quali prima appartenevano alla primavera, avrebbero appartenuto all' autunno, quelli d' estate all'inverno e viceversa. Nè sarebbesi ricondotto l'ordine primitivo (dopo $365 \times 4 = 1460$ anni), se non per ricominciare le stesse alterazioni. Giulio Cesare cercò di rimediare a tale inconveniente, comandando che ad ogni quattro anni s'intercalasse un giorno; sicchè tre dovessero tenersi di 365 giorni ed il quarto di 366. Ma quando (45 anni avanti l'êra cristiana) Cesare promulgò questo decreto, si era già incorso nell'errore di 90 giorni. Pertanto, onde le stagioni corrispondessero coi mesi, come sono attualmente, egli volle eziandio che all'anno precedente si aggiungessero 90 giorni. Fu poi prescritto altresì che il giorno da aggiungersi ogni quattro anni si avesse da intercalare fra il 24 ed il 25 febbrajo. E poichè il 24 febbrajo chiamavasi dai Latini *sexto Kalendas martii*, il giorno aggiunto chiamossi *bis-sexto Kalendas;* ed è perciò che l'anno di 366 giorni, nel quale il mese di febbrajo ha 29 giorni, riceve anche attualmente l'appellativo di *bisestile.*

Correzione Gregoriana. La correzione introdotta da Giulio Cesare nel calendario produceva però un errore in contrario, sebbene molto più piccolo; giacchè supponeva che l'anno fosse di 365 giorni e 6 ore, mentre in realtà è qualche cosa meno. Convenne adunque risolvere direttamente il problema: *ogni quanti anni faccia d' uopo intercalare un giorno, perchè le stagioni succedansi con periodo costante.* Si trovò che in 516 anni si dovrebbero intercalare 125 giorni; e quindi in 400 anni 96g·,9, ossia prossimamente 97 giorni, invece di 100, come porterebbe la riforma Giuliana. Il sommo pontefice Gregorio XIII, nell'anno 1582, impose appunto che di 400 anni fossero bisestili appena 97. Per dare in ciò una regola sicura, stabilì che il bisestile dovesse accadere ogni quattro anni, come voleva Giulio Cesare, ma che per ogni quattro anni secolari non fosse bisestile che il primo; ossia, avendo incominciato dal 1600, riescisse bisestile solamente quell'anno secolare che compie un numero esattamente divisibile per 4. Onde poi l'equinozio di primavera coincidesse di nuovo col 21 marzo, da cui era rimasto indietro per 10 giorni, il pontefice Gregorio volle che nell'anno 1582, in cui si fece la riforma, si tralasciassero nel mese di marzo 10 giorni; sicchè, dopo il quarto, si contò il giorno quindicesimo di quel mese. Adesso tutte le nazioni di Europa si sono uniformate al calendario Gregoriano, se pur si eccettua la Russia, che finora non volle modificare il calendario Giuliano. Quindi, per questa nazione, le date ritardano dei 10 giorni soppressi da papa Gregorio, e dei due bisestili portati dagli anni secolari 1700 e 1800, ossia di 12 giorni. Alle date dei Russi converrà dunque aggiungere sempre 12 giorni, onde eguagliarle alle nostre.

La correzione Gregoriana non rimedia proprio all'inconveniente, ma l'errore è così piccolo che per correggerlo, in un periodo di 3963 anni e mezzo circa, basterebbe aggiungere un altro bisestile a quelli prescritti da Gregorio XIII.

Lettera domenicale. Un anno non abbraccia un numero esatto di settimane: l'anno comune ne contiene 52 ed un giorno, e l'anno bisestile 52 e due giorni. Per conseguenza, il giorno della settimana in cui principia l'anno cambia periodicamente. Qualunque esso sia, si è convenuto di indicarlo colla lettera A, e di contrassegnare gli altri sei giorni successivi colle lettere B, C, D, E, F, G; indi cominciare da capo l'ordine delle lettere A, B, C, D, E, F, G pel seguente settenario di giorni, e così fino al termine dell'anno. La lettera che si riferisce alle domeniche di un dato anno, chiamasi *lettera domenicale* per quell'anno. Nel passare da un anno comune ad un altro, la lettera

che corrisponde a ciascun giorno della settimana, e quindi anche la domenicale si cambia in ordine retrogrado. Epperò, se tutti gli anni fossero di 365 giorni, verrebbe a ripetersi costantemente la stessa lettera domenicale ogni sette anni; ma, perchè in ogni quadriennio un anno è bisestile, ossia di 366 giorni, così ogni quattro anni l'ordine delle lettere domenicali riesce alterato. Riflettendo poi che il giorno di aumento si attribuisce al mese di febbrajo, appare che la lettera domenicale in gennajo e febbrajo indicherà lunedì negli altri mesi; cioè gli anni bisestili avranno due lettere domenicali, delle quali la prima, che appartiene ai due mesi di gennajo e di febbrajo, precede immediatamente l'altra.

Ciclo solare. S'indovina che essendo ogni quattro anni uno bisestile, le lettere domenicali dopo 28 anni (4×7) si ripeteranno nel medesimo ordine. Questo periodo di tempo è quello che si chiama *ciclo solare;* e secondo i cronologi ebbe principio 9 anni prima dell'êra cristiana. Quindi, volendo sapere qual numero del ciclo solare corrisponda ad un anno qualunque, basta aggiungere 9 al numero che indica questo anno; e dividere questa somma per 28: nel residuo si ha il numero che si cerca. Nella tavola seguente vi sono offerte le lettere domenicali che corrispondono agli anni del ciclo solare.

Ciclo solare	Lettera domenicale	Ciclo solare	Lettera domenicale	Ciclo solare	Lettera domenicale	Ciclo solare	Lettera domenicale
1	E D	8	C	15	A	22	F
2	C	9	B A	16	G	23	E
3	B	10	G	17	F E	24	D
4	A	11	F	18	D	25	C B
5	G F	12	E	19	C	26	A
6	E	13	D C	20	B	27	G
7	D	14	B	21	A G	28	F

747. **Moto apparente della luna**. La luna, il secondo astro in ordine di grandezza apparente, partecipa al movimento diurno della sfera celeste. Il tempo che passa fra due passaggi successivi della luna per un medesimo meridiano, appellasi *giorno lunare.* Oltre ciò, essa di sera in sera tarda a levarsi di circa 50 minuti. Per conseguenza, il giorno lunare riesce più lungo del giorno solare, e la luna mostra di percorrere giornalmente un

arco di circa 13° da occidente ad oriente, ossia di moversi nel medesimo verso del sole, ma con velocità molto maggiore. La rivoluzione della luna intorno alla terra si compie in 27g.,7°, 43m,11s,5. Si è colle osservazioni accertato che la retta ideale congiungente i centri della terra e della luna, a partire da un punto qualunque dell' orbita lunare, descrive aree proporzionali ai tempi impiegati a descriverle. Tale proprietà, supposta non approssimativa, ma rigorosamente vera, appartiene al moto centrale, come dimostrano i meccanici (206). Inoltre, si conobbe che il diametro apparente della luna, nel periodo dei 27 giorni circa, varia successivamente fra i limiti di 29′,21″,91 e di 33′, 3″. 07. Questa varianza di diametro apparente dimostra che il satellite non si aggira nella periferia di un circolo, nè con moto uniforme. Se ne è dunque conchiuso che l'orbita lunare è prossimamente ellittica (207). Il piano di questa ellisse fa un angolo di 28°,36′,48″ coll'equatore, e quindi interseca l'eclittica sotto l'inclinazione di 5°,8′,48″. I due punti d'intersezione dell'orbita lunare coll'eclittica si appellano *nodi.* Quello ove la luna incontra l' eclittica, movendo verso il polo boreale, si dice *ascendente,* e l'altro chiamasi *discendente.* Il sito dell'orbita lunare nel quale la luna appare della minima grandezza, ossia il vertice di questa ellisse più lontano dalla terra, si denomina *apogeo;* e l'altro, diametralmente opposto, ove la grandezza apparente della luna è massima, dicesi *perigeo.* La retta che si può imaginare condotta dall' uno all' altro nodo, ebbe il nome di *linea dei nodi;* e quella che passa nell'apogeo e nel perigeo fu appellata *linea degli absidi.* È inutile avvertire che la prima è prossimamente l'asse minore, e la seconda è l'asse maggiore dell'orbita lunare. Piuttosto debbo dirvi che i nodi di quest' orbita si movono apparentemente da oriente verso occidente, come quelli dell' eclittica, ma con velocità molto maggiore, compiendo essi un giro intero in 18 anni circa. Anche l'apogeo ed il perigeo, dall'una all'altra rivoluzione, sembrano spostarsi nella sfera celeste, in guisa da fare un giro da occidente ad oriente in 9 anni circa. Il primo fenomeno dicesi *retrogradazione della linea dei nodi;* ed il secondo appellasi *movimento della linea degli absidi.* Non si dimentichi che nè l'uno nè l'altro avvengono regolarmente; ma ora sono più, ed ora meno sensibili. Ne vedremo poi la ragione; intanto ciò serva a mettervi bene in mente che la linea percorsa dal centro della luna nella sua rivoluzione non è precisamente un' ellisse, ma vi si accosta.

748. **Fasi lunari.** La luna è molto più vicina alla terra che non sia il sole; cioè essa gira intorno alla terra in un' orbita

ristretta, relativamente a quella che sembra percorsa dal sole. E perchè il moto apparente della luna è più rapido di quello del sole, si capisce che la luna deve cambiare periodicamente posizione rispetto al sole ed alla terra. Così talvolta essa appare fra la terra ed il sole; e tal'altra volta all'incontro si trova la terra dirittamente fra il sole e la luna. Per significare la prima posizione, si dice che la luna è in *congiunzione* col sole, e per esprimere l'altra si usa dire che dessa è in *opposizione*. La distanza angolare della luna, ed in generale di un astro qualunque dal sole, chiamasi *elongazione* di esso. È manifesto che nella congiunzione l'elongazione della luna è nulla, o quasi nulla; e nell'opposizione giunge a 180°. Quando l'elongazione della luna è di 90°, si dice di vedere questo satellite in *quadratura*.

Dopo ciò, siamo in grado di farci ragione dei cambiamenti di forma, o delle *fasi*, che la luna ci presenta periodicamente. Essa è un corpo opaco, il quale non è visibile se non in quanto è rischiarato dal sole. Perchè poi la faccia illuminata della luna è sempre quella rivolta verso il sole medesimo, la quale non è sempre quella che sta dirimpetto alla terra, ne consegue che ora la vediamo, ed ora no; talvolta se ne scorge una buona parte, e tal'altra solamente un piccolo tratto. Colla figura 753 vi è

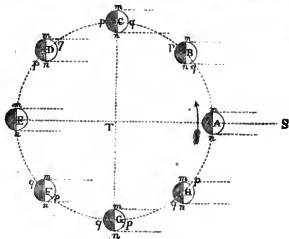



Fig. 753.

rappresentata la terra in T, ossia nel centro dell'orbita lunare ACEG, supposta per ora circolare, e dal lato S si deve imaginare situato il sole. Nella medesima figura la parte bianca del globo lunare, disegnato nei siti principali che viene successiva-

mente ad occupare nella sua rivoluzione, indica l'emisfero illuminato dal sole; e la parte del globo stesso interna alla linea, che rappresenta l'orbita lunare, vi offre un'imagine dell'emisfero rivolto alla terra, in ciascuna di quelle diverse posizioni. La luna, quando è in A, ossia in congiunzione, volge verso la terra la sua faccia oscura, epperò a noi riesce invisibile. Suol dirsi che allora la luna è *nuova,* ovvero che avviene il *novilunio.* Se all'incontro essa trovasi in E, cioè in opposizione col sole, ci apparisce piena, o, come si dice, compie il *plenilunio.* I due punti A ed E, che corrispondono alla congiunzione ed alla opposizione, ossia al novilunio ed al plenilunio, si appellano anche, con vocabolo comune, le *sizigie.*

Ora chicchessia indovina che mentre la luna passa dalla congiunzione A alla opposizione E, la parte dell'emisfero illuminato che ci apparisce deve aumentare successivamente; e quindi dicesi che l'astro, quando si allontana dal sole è *crescente.* In quella vece, percorrendo essa l'altra metà della sua orbita, la parte per noi visibile diminuisce nella stessa proporzione colla quale crebbe dapprima, ossia la luna è *decrescente.* Nelle due quadrature C e G la luna è *dicotoma,* ossia mezza illuminata e mezza oscura. Durante il *primo* e l'*ultimo quarto* offre l'aspetto di una lunula; ma nel primo volge la convessità verso l'occidente, e nell'altro la mostra all'oriente. I quattro punti B, D, E, H, intermedj alle sizigie ed alle quadrature, s'appellano gli *ottanti.*

Fig. 754.

Luce cinerizia. Avrete spesse volte osservato che la luna, quando è prossima alla congiunzione, appare d'ordinario luminosa per un piccolo tratto simile alla lama d'una falciuola, ma riesce visibile anche nel rimanente del disco (fig. 754), ove mostra colore pallido e cinerizio. È questo un effetto della luce riflessa sulla luna dalla terra, che volge ad essa tutto il suo emisfero illuminato.

749. **Eclissi.** La terra e la luna, illuminate dal sole, gittano dietro di sè un'ombra, che ha la forma di un cono a loro attaccato per la base, e volto colla punta verso la banda opposta a quella dove è il sole. L'ombra della terra è sì lunga che oltrepassa di molto la lontananza alla quale le si aggira d'intorno la luna. Questa pertanto non può passare *dirittamente* dietro la

terra, senza attraversarne l'ombra. In quel momento, essa viene per conseguenza ad oscurarsi, e non riappare se non quando, uscendo fuori dell'ombra dall'altra parte, è nuovamente illuminata dal sole. In ciò consiste un *eclisse di luna.*

Quando la luna passa *dirittamente* tra il sole e la terra, il fenomeno è consimile; e si dice allora che havvi *eclisse di sole,* perchè questo riesce invisibile a coloro che sono immersi nell'ombra lunare, ma propriamente sarebbe eclisse di terra ed occultazione di sole. Non bisogna però perdere di vista che la luna, come molto più piccola della terra, gitta anche un cono di ombra proporzionatamente minore, sicchè la terra non è mai completamente oscurata dall'ombra della luna, ma lo è solo per un certo tratto della sua superficie; e per conseguenza il sole riesce occultato appena agli abitatori dei paesi ivi situati. Ed anche l'estensione di questo tratto cambia nella maniera la più curiosa. Per intendere ciò, convien sapere che la lunghezza dell'ombra lunare è ad un dipresso eguale alla distanza fra la terra e la luna; ma si dà spesso il caso che, mentre l'una si accresce, l'altra all'incontro si diminuisce; sicchè il cono d'ombra lunare ora è eguale, ed ora è più o meno lungo della distanza della luna dalla terra. Nel primo caso il cono arriva appena col suo vertice alla superficie terrestre (fig. 755), e l'ombra lunare è un

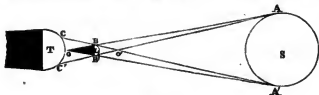



Fig. 755.

piccolissimo spazio oscuro che scorre sulla terra. Gli abitanti dei luoghi, ove passerà quest'ombra, avranno successivamente eclisse *totale* di sole; e nei paesi laterali, che saranno colpiti solo dalla penombra, si osserverà un eclisse *parziale.* Quando poi la lunghezza del cono è maggiore dell'intervallo fra i due

Fig. 756.

pianeti (fig. 756), non solamente l'ombra trapassa sulla super-

ficie della terra, ma ne oscura un gran tratto. Che se al contrario il cono dell'ombra non arriva fino alla terra, allora su questa non passa che il cono della penombra (419), opposto al primo (fig. 757). In questo caso gli abitanti di quei paesi che

Fig. 757.

hanno eclisse scorgono una porzione annulare (fig. 758) o lunulare (fig. 759) del disco del sole; donde i nomi d'eclissi *annulari* e *falcati*.

Se l'orbita lunare giacesse nel piano dell'eclittica, si avrebbe un eclisse di luna ad ogni opposizione, ed un eclisse di sole ad ogni congiunzione. Ma, per l'inclinazione dell'orbita lunare, gli eclissi sono fenomeni relativamente rari; giacchè la luna nelle opposizioni e nelle congiunzioni non trovasi perfettamente in linea retta col sole e colla terra; e per conseguenza essa passa o più alto o più basso dell'ombra della terra, o questa passa alla dissopra od al dissotto di quella della luna. Si capisce però che potrà darsi il caso in cui la posizione dei tre corpi sia tale che l'uno dei due pianeti venga ad immergersi nell'ombra dell'altro appena per una porzione, allora l'astro apparirà *falcato* (fig. 760), e l'eclisse sarà *parziale*. Perchè adunque avvenga un

Fig. 758.

Fig. 759.

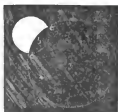



Fig. 760.

eclisse (lunare o solare), è necessario che la luna si trovi presso a poco nel piano dell'eclittica, sia cioè nei nodi o poco lontana da essi. Onde determinare la grandezza di un eclisse parziale, gli astronomi suppongono diviso il diametro dell'astro che si occulta in 12 parti eguali, appellate *digiti*, e ciascun digito in 60', ed indicano i numeri dei digiti che si oscurano.

L'eclisse *principia* quando il lembo orientale dell'astro tocca l'orlo occidentale dell'ombra; e *finisce* allorchè il lembo occidentale dell'astro si distacca dall'orlo orientale dell'ombra. Un eclisse totale di luna può durare anche un'ora e 45 minuti; ma un eclisse totale di sole non può essere più lungo di 12 minuti, e 24 secondi pei paesi posti sull'equatore, e di 9 minuti e 56 secondi per quelli situati sotto il parallelo di Parigi.

La luce però, tanto negli eclissi lunari come nei solari, non si spegne tutt'a un tratto, nè istantaneamente ricompare; sicchè la durata complessiva del fenomeno è maggiore di quei limiti. Se ne indovina la ragione: le ombre della terra e della luna hanno larghe penombre, e l'uno dei due pianeti necessariamente non può entrare nell'ombra dell'altro, od uscire da essa, senza traversare la penombra. Volendo pertanto computare il tempo del fenomeno, dal momento in cui l'astro comincia ad impallidire a quello in cui riacquista il suo splendore ordinario, allora la durata di esso potrebbe arrivare a 3 ore e 5 minuti per gli eclissi di luna, e per quelli di sole a 4 ore e 29 minuti lungo l'equatore, ed a 3 ore e 26 minuti sotto il parallelo di Parigi.

750. **Mese lunare periodico o siderale — e mese lunare sinodico**. Ora a compimento di quanto vi ho esposto circa la luna, debbo aggiungervi alcune definizioni. Il tempo che la luna impiega a percorrere la sua orbita, il quale è, come abbiam detto, di 27 giorni circa, si chiama *mese lunare periodico*. Invece si appella *mese lunare sinodico* l'intervallo di tempo che passa fra due congiunzioni successive della luna. Si capisce bene che il mese sinodico dev'essere maggiore del mese periodico; giacchè, avanzandosi continuamente il sole lungo l'eclittica, la luna, per raggiungerlo una seconda volta, deve non solo fare un giro intorno alla terra, ma camminare anche pel tratto percorso dal sole nei 27 giorni circa. La durata del mese sinodico è di 29 giorni, 12 ore, e 44′,2″,87.

Anno lunare. Dodici mesi sinodici formano *l'anno lunare.* Siccome però esso riesce minore di un anno solare, ossia non comprende che 354 giorni solari, così quando i residui accumulati formano un mese, questo viene intercalato nell'anno lunare, facendolo di 13 lunazioni.

Epatta. Si capisce che i numeri di giorni residui variano così da un anno all'altro. Supponendo che un anno lunare incominci insieme ad un anno solare, alla fine di questo saránno passati 11 giorni dell'anno lunare successivo. Compito il secondo anno solare, saranno accadute 24 lunazioni, coll'avanzo di 22 giorni; ed al finire del terzo anno solare saranno passati tre anni lunari

(ciascuno di 12 lunazioni), e 33 giorni, i quali equivalgono ad una tredicesima lunazione, più 3 giorni e mezzo. Il numero dei giorni di cui si trova avanzato l'anno lunare, al principio dell'anno solare, si chiama l'*età della luna,* o l'*epatta.*

Ciclo lunare. Un anno lunare non principia coll' anno solare che ad ogni periodo di 19 anni. Questo periodo di tempo, nel quale, supposto l'anno di 365 giorni, si compiono 235 lunazioni, si appella *ciclo lunare.* Dodici anni del ciclo lunare sono di 12 lunazioni, e gli altri 7 sono di 13. In ogni ciclo i novilunj, i plenilunj e gli altri fenomeni lunari si succedono press'a poco nello stesso ordine, e colle medesime circostanze.

Numero d' oro. Il numero del ciclo lunare che corrisponde ad un anno qualunque, si chiama *numero d'oro* dell'anno medesimo. Il primo anno dell' êra cristiana aveva 2 per numero d'oro, ossia era il secondo d'un ciclo lunare. Per conoscere il numero d'oro di un dato anno, basta aggiungere 1 al numero rappresentante l'anno stesso e dividerlo per 19: il residuo sarà il numero d'oro dimandato. Per esempio, il numero d'oro dell'anno 1866 è 5, cioè il residuo di $\frac{1867}{19}$.

Vi offro qui le epatte che corrispondono ai diversi numeri d' oro del ciclo lunare.

Numero d'oro	Epatta	Lunazioni trascorse dal principio del ciclo	Numero d'oro	Epatta	Lunazioni trascorse dal principio del ciclo
1	0	0	11	XX	123
2	XI	12	12	I	136
3	XXII	24	13	XII	148
4	III	37	14	XXIII	160
5	XIV	49	15	IV	173
6	XXV	61	16	XV	185
7	VI	74	17	XXVI	197
8	XVII	86	18	VII	210
9	XXVIII	98	19	XVIII	222
10	IX	111	1	0	235

Conosciuto il numero d'oro di un anno, e per conseguenza l'epatta, si può determinare l'età della luna in qualunque giorno dell'anno, colla seguente regola. — Al numero del giorno dato nel mese si aggiunga quello dell'epatta dell'anno, coll'aumento

di tante unità quanti sono i mesi intieri trascorsi dal principio dell'anno (se il mese considerato è gennajo o febbrajo), o dal primo marzo (per gli altri mesi): il numero così ottenuto (se minore di 30), o l'eccesso di questo numero sopra 30, esprime l'età dimandata della luna.

La cognizione dell'epatta giova anche a trovare le epoche dei novilunj e dei plenilunj dell'anno. Per ciò, è da sapersi che, invece di considerare una lunazione come formata di 29 giorni e mezzo circa, si è convenuto di supporre di 30 giorni quella lunazione che *finisce* per la prima in un anno solare, e le altre alternativamente di 29 e 30 giorni. Si eccettuano però quegli anni che avessero un'epatta maggiore di 24: allora il mese lunare che si compie poco dopo il principio dell'anno solare, deve essere di 29, e non di 30 giorni. Ciò posto, chicchessia indovina che sottraendo da 30 l'epatta dell'anno, ed aggiungendovi poscia l'unità, il numero ottenuto esprimerà il giorno di gennajo in cui si compie il primo novilunio dell'anno, ossia indicherà il primo giorno del primo mese lunare di quell'anno. Conosciuta l'epoca del primo novilunio, basterà aggiungere 14 per avere la data del plenilunio, o 29 per sapere quella del secondo novilunio, e così via discorrendo.

Epoca della Pasqua. Le notizie precedenti servono anche alla determinazione del giorno di Pasqua, da cui dipendono tutte le altre feste mobili nel rito della nostra Chiesa Cattolica Apostolica Romana. Giusta il decreto del sacro concilio Niceno, la solennità di Risurrezione deve celebrarsi nella domenica seguente il primo plenilunio dopo il 21 marzo. Per conseguenza, volendo sapere il giorno di Pasqua di un dato anno, basta cercare il giorno del primo plenilunio che avviene dopo il 21 marzo, e, col sussidio della lettera domenicale, la domenica immediatamente seguente. Si capisce che una tale festa deve sempre cadere tra il 22 marzo ed il 25 aprile. Imperocchè, se il giorno del plenilunio fosse proprio il 21 marzo, e questo giorno fosse sabato, si avrebbe la Pasqua nel giorno seguente. Che se invece avvenisse un plenilunio al 20 marzo, il plenilunio seguente cadrebbe nel 18 aprile; quindi, se questo giorno fosse domenica, bisognerebbe trasportare la Pasqua al 25 dello stesso mese.

751. **Moti apparenti degli altri pianeti.** Tutti i pianeti mostrano di moversi nella sfera celeste. Ma la direzione del loro movimento non è costante. Per la massima parte del tempo si movono da occidente verso oriente, cioè hanno un moto apparente *diretto*. Di quando in quando però il loro moto si scambia in *retrogrado*, cioè camminano da oriente verso occidente.

Nel passaggio dall'uno all'altro di questi movimenti, i pianeti appariscono *stazionarj*. Il moto diretto dura più del retrogrado, ed in fin dei conti l'effetto del primo supera quello del secondo, sicchè tutti i pianeti, in tempi più o meno lunghi, compiono il giro del cielo stellato, descrivendo un'orbita che generalmente non è molto inclinata sull'eclittica.

I due pianeti *interiori*, cioè Mercurio e Venere, non si veggono mai in opposizione nè in quadratura col sole; ma oscillano per così dire apparentemente dall'una e dall'altra parte di esso, movendosi ora in un senso ed ora nel senso opposto. Le massime elongazioni di Mercurio variano fra 16° e 28°, e quelle di Venere fra 45° e 47°. Venere è più splendido di Mercurio ed anche di qualunque altro astro, se eccettuansi il sole e la luna. Si scorgono questi due pianeti al mattino, verso oriente, e poco prima della levata del sole, quando la loro elongazione è occidentale; ed invece se questa è orientale, veggonsi di sera, verso occidente, dopo il tramonto del sole. L'uno e l'altro dei due astri in discorso, allorchè sono prossimi alla congiunzione, riescono invisibili per la grande intensità dei raggi solari.

La grandezza apparente dei due pianeti interni cambia periodicamente, ed in modo notevole. D'ordinario, essi compariscono della massima grandezza, quando di mattino s'immergono nei raggi solari, o di sera escono da essi; ed al contrario sembrano impiccoliti al minimo, allorchè emergono dai raggi solari al mattino, oppure si gittano in essi verso sera.

Un'altra particolarità dei due pianeti interni è ch'essi offrono, a chi li osserva con buoni cannocchiali, le medesime fasi della luna; cioè ora assomigliano ad una falciuola luminosa, ora appajono dicotomi, e talvolta rotondi. Sono dicotomi nelle loro massime elongazioni dal sole, e falcati o pieni nelle piccole.

Si è osservato anche che qualche volta questi due pianeti nella congiunzione passano proprio dinanzi al disco solare, e sembrano un punto nero che percorra una corda del disco medesimo. A questo fenomeno si diede il nome di *passaggio* o *transito*. Più frequenti sono i transiti di Mercurio, che non quelli di Venere.

Quanto ai *pianeti esteriori*, è da sapersi ch'essi si scorgono anche in quadratura ed in opposizione, e non presentano fasi come gli interiori. Alcuni di essi, come già dissi, sono accompagnati da qualche pianeta secondario, come la terra lo è dalla luna. Magnifico è l'aspetto di Saturno circondato nella direzione del suo equatore da un bellissimo anello, che non gli aderisce in alcuna parte. Questo anello compare largo e sottile, e gira intorno al pianeta. Il piano di esso è inclinato sull'eclittica per 29

o 30 gradi: ora riesce press'a poco parallelo alla nostra visuale; ed ora invece è più o meno inclinato a questa linea. Nel primo caso è per noi invisibile, od al più ci apparisce come un sottilissimo filo di luce che traversi il pianeta in direzione rettilinea. Negli altri casi l'anello ci compare più o meno largo (fig. 761), se pur volge a noi la faccia rischiarata dal sole; e perchè la parte posteriore ci viene occultata, e l'anteriore si confonde in parte col disco del pianeta, le due parti laterali sporgono apparentemente più delle altre, e si chiamano le *anse* di Saturno. L'anello, in simili posizioni, presenta verso il labbro esterno alcune striscie oscure ad esso concentriche, le quali lo fanno apparire come diviso in più corone circolari. Si ammette che queste linee lo dividano davvero in tre, e forse più anelli.

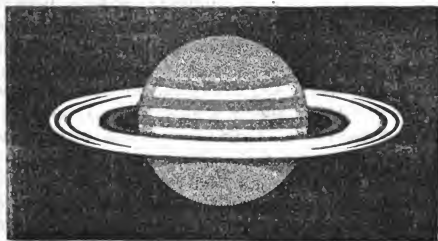



Fig. 761.

752. **Moti apparenti delle stelle fisse.** Per esprimere precisamente la posizione di una stella, ed in generale di un astro qualunque, gli astronomi imaginano quattro linee, che sono, o si possono supporre circonferenze massime della sfera celeste. Due già le conoscete, e sono l'*equatore celeste* e l'*eclittica;* e le altre due sono i *cerchi di declinazione* e *di latitudine* della stella che si considera. Per cerchio di declinazione d'una stella s'intende il meridiano celeste che passa per essa, ossia il cerchio determinato da questa stella e dai poli dell'equatore. Chiamasi poi *cerchio di latitudine* di una stella quello che viene determinato da essa e dai poli dell'eclittica. Ma ciò che serve ad indicare la posizione di una stella propriamente non sono questi circoli, ma quattro loro archi, cioè la *declinazione, l'ascensione retta,* la *latitudine* e la *longitudine.* La declinazione di una stella *e* (fig. 762) è l'arco *ea* del cerchio di declinazione, compreso fra la stella medesima e l'equatore. S'appella ascensione retta di una stella l'arco A*a* dell'equatore, compreso tra

l'equinozio di primavera A ed il cerchio di declinazione che appartiene a questa stella. Si è dato poi il nome di latitudine di una stella, per esempio *e*, all'arco *eb* del cerchio di latitudine compreso fra la stella e l'eclittica. Per ultimo gli astronomi appellano longitudine di una stella qualunque *e* l'arco A*b* dell'eclittica, compreso tra l'equinozio di primavera ed il cerchio di latitudine. La declinazione di un astro è *boreale* od *australe*, a seconda che appartiene all'uno od all'altro emisfero; e l'ascensione retta si computa sempre partendo dall'equinozio di primavera, ed andando verso la stella nella direzione del moto annuo apparente del sole, cioè da occidente in oriente.

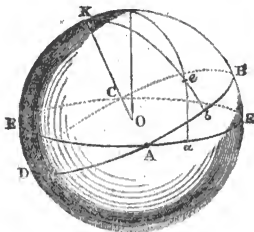



Fig. 762.

Or bene è importantissimo a sapersi che le stelle, per effetto della precessione degli equinozj, a poco a poco cambiano apparentemente la declinazione, l'ascensione retta e la longitudine. Di fatto, se l'effetto della precessione degli equinozj è proprio quello che sarebbe prodotto dalla rotazione del polo P dell'equatore o del mondo intorno al polo K dell'eclittica, s'indovina che, abbassandosi il polo P ed il punto A, mentre rimangono fissi il punto K e la stella *e*, gli archi A*b*, A*a* ed *ea* debbono variare: solo l'arco *eb* sarà costante. Non imaginatevi però che questi moti apparenti delle stelle mostrino sempre la stessa velocità; essi cambiano periodicamente. Avviene insomma come se il polo P (fig. 752) del mondo, passando nelle posizioni P′, P″... oscillasse o girasse intorno ad esse, sicchè ora si accostasse al polo K, ed ora se ne allontanasse. Il giro, che il vero polo del mondo verrebbe così a compiere apparentemente intorno alle sue medie posizioni, sarebbe di 18 a 19 anni. A questa apparenza si diede il nome di *nutazione* dell'asse del mondo.

Un altro moto apparente delle stelle, che si manifesta meglio di tutti quelli che vi ho descritti, è quello dell'*aberrazione*. Esso consiste in ciò che tutte le stelle in un anno percorrono apparentemente un cerchio od un'ellisse, oppure sembrano oscillare lungo una linea retta. Ogni stella situata presso il polo dell'eclittica appare moversi sulla circonferenza d'un cerchio, il cui raggio, veduto dalla terra, è di 20″,25. Le stelle che sono in un luogo della sfera celeste posto fra l'eclittica ed un polo di essa manifestano di camminare in apparenza lungo un'ellisse.

L'asse maggiore di questa ellisse è costantemente parallelo all'eclittica, e sempre di 40″,5, e l'asse minore, perpendicolare all'eclittica medesima, impiccolisce avvicinandosi ad essa, finchè si annulla, quando la stella non ha latitudine, ossia trovasi nel piano dell'eclittica. Allora il cammino, apparentemente percorso dall'astro, si riduce ad una linea retta di 40″,5. La stella realmente si trova al centro del cerchio o dell'ellisse, oppure nel mezzo della linea retta; sicchè il luogo apparente di essa non è mai lontano dal luogo vero più di 20″,25.

Anche i pianeti mostrano il fenomeno dell'aberrazione. Per Mercurio arriva a 60″, per Venere a 43″, per Marte a 36″, per Giove a 29″, per Saturno a 26″, e per Urano a 25″. Ciò fa nascere naturalmente il sospetto che la cosa dipenda da una condizione soggettiva dell'osservatore, piuttosto che da condizione oggettiva degli astri. Si badi alla manifesta relazione dell'apparenza coll'eclittica, che ci servirà a darne la spiegazione.

ARTICOLO SECONDO

MOTI REALI DEGLI ASTRI.

753. **Sistema Tolemaico.** Tutte le ipotesi, fatte per spiegare i moti apparenti degli astri, si possono ridurre a due, cioè al sistema Tolemaico ed a quello di Copernico. Tolomeo dapprima imaginò che la terra fosse ferma nel centro dell'universo, e gli astri girassero intorno ad essa con moto uniforme. Di più, egli ammise che le stelle percorressero costantemente la medesima linea in tutti i successivi periodi di 24 ore; ma il sole ed i pianeti allora conosciuti deviassero in ogni giorno dal cammino tenuto nella giornata precedente, in modo da percorrere, in tempi più o meno lunghi, un'altra circonferenza attorno la terra medesima. Ma ciò evidentemente non era sufficiente a render conto neppure dei principali fenomeni, che si osservano nel movimento dei pianeti. Epperò Tolomeo, col progresso del tempo, cambiò qualche cosa della sua ipotesi. Suppose che la terra si trovasse fuori del centro delle orbite dei pianeti, e questi girassero lungo una linea sinuosa, ma regolare. Per dare un'imagine di questo cammino bizzarro che, secondo le sue idee, avrebbero dovuto tenere i pianeti, egli disse che le cose avvenivano come se ogni pianeta si movesse lungo una circonferenza, il cui centro scorresse per un'altra maggiore. A questa seconda circonferenza, che rappresenterebbe prossimamente l'orbita del pia-

neta, diede il nome di *deferente*, ed alla prima di *epiciclo*. Così Tolomeo voleva spiegare le variazioni che appajono nella velocità e nella distanza dei pianeti; e credeva che l'ipotesi dell'epiciclo, il quale talvolta avrebbe dovuto scorrere lungo un secondo ed anche un terzo epiciclo, bastasse a dar ragione delle stazioni e retrogradazioni dei pianeti stessi.

Sistema Copernicano. Copernico invece attribuì alla terra due movimenti principali: l'uno *progressivo* lungo l'eclittica, nel cui centro supponeva prossimamente situato il sole; e l'altro *rotatorio* intorno al diametro inclinato di 66°,32′ sul piano dell'eclittica. Il periodo del primo movimento sarebbe l'anno solare, e quello del secondo il giorno. La direzione sarebbe per ambedue da occidente all'oriente. Inoltre, imaginò che questo asse di rotazione della terra giri lentissimamente intorno al diametro perpendicolare al piano dell'eclittica, ossia che la terra abbia anche un moto *conico*. La direzione di tale movimento sarebbe contraria all'ordine dei segni, ed il periodo arriverebbe a 25868 anni. I pianeti, secondo il sistema Copernicano, girerebbero allo stesso modo intorno al sole, mentre rotano attorno di un loro diametro. La luna accompagnerebbe la terra, girando intorno ad essa, e similmente alcuni degli altri pianeti sarebbero seguiti da corpi minori.

754. **Moto rotatorio della terra**. Si capisce che, ammettendo il moto rotatorio della terra, si rende buon conto del moto apparente della sfera celeste. Se la terra rota da occidente verso oriente, è manifesto che a noi dovrà sembrare che gli astri girino con velocità uniforme da oriente verso occidente. Nè peraltro ci mancano argomenti, per dimostrare all'evidenza che davvero la terra rota nel verso indicato, come supponeva Copernico. Innanzi tutto, ricordiamo che la terra ha la figura di un globo schiacciato alquanto nel verso dell'asse di rotazione. Epperò se ammettesi, come provano i fenomeni geologici, che la terra da principio fosse fluida, e raffreddandosi poscia lentamente siasi consolidata alla superficie, s'indovina la causa di quel fatto. Qualora la terra fosse stata in quiete nell'atto della sua solidificazione, avrebbe dovuto assumere la forma sferica (38). Ma, se allora girava intorno al proprio asse, la forza centrifuga (211), massima all'equatore (212), doveva qui produrre un rigonfiamento, da cui sarebbe risultato per effetto naturale lo schiacciamento ai poli. La terra stessa adunque, com'è attualmente, ci fa supporre il suo moto rotatorio. Per accertarvi che la cosa stia proprio così, rammentatevi anche delle nozioni esposte ai nn. 31 e 234. Là fu detto che il valore della gravità aumenta

passando dall' equatore ai poli, ed osservando la tavola alla pagina 320 (vol. I) si trova che i valori della gravità ai due luoghi suddetti, sono press'a poco proporzionali ai numeri 193 e 194; di modo che 193 chilogrammi all'equatore sarebbero 194 ai poli. Si è calcolato quanto doveva influire in questo fenomeno la diversità di distanza del centro della terra dai poli e dai punti all'equatore, e si è trovato che l'effetto di questa causa era molto minore di quello più sopra riferito. Nacque allora la tentazione di credere che la differenza fosse pure l'effetto della forza centrifuga. Fatto calcolo anche della grandezza di questo, nell'ipotesi in cui la terra rotasse, come balenò alla mente di Copernico, si trovò con sorpresa che corrisponde proprio a quella differenza; sicchè la somma dei due effetti, computati teoricamente, è eguale a quanto di fatto diminuisce il valore della gravità nel passaggio dall'equatore ai poli. Anche la direzione dei venti alizei dimostra la rotazione della terra; ma di essi parleremo in meteorologia.

I dotti, in una questione tanto importante, non vollero appagarsi di queste prove, peraltro concludenti: seppero levare ogni dubbio, imaginando esperienze che dimostrassero evidentemente il supposto di Copernico. Per intendere ciò, si cominci dal riflettere che, se la terra gira davvero intorno al proprio asse, una pietra, cadendo dall'alto di una torre, non deve tenere la direzione del filo a piombo, come dovrebbe avvenire nel caso in cui la terra fosse immobile. Di fatto, la pietra al vertice della torre riesce animata da una velocità assoluta, da occidente verso oriente, maggiore di quella che corrisponde al piede della torre medesima; quindi nella caduta, percorrendo la diagonale del parallelogrammo costrutto sulla verticale e sulla linea che può rappresentare la velocità primitiva (71), si sposta verso oriente. Onde constatare il moto rotatorio della terra, bastava adunque verificare se davvero i gravi, cadendo da una notevole altezza, deviano verso l'est dalla direzione del filo a piombo. Si fecero molte osservazioni a questo intento, e delicatissime fra le altre riuscirono le esperienze eseguite dal Guglielmini alla torre degli Asinelli in Bologna. I risultati furono tali da non lasciare alcun dubbio circa la verità del fenomeno. Si volle anche fare il confronto tra le grandezze della deviazione osservata e di quella dedotta teoricamente dalla differenza di velocità assoluta fra il vertice ed il piede della torre; e tutto confermò le previsioni del calcolo. Più curiosa, ed insieme più decisiva, è una esperienza di nuovo genere che abbiamo da arrecare in prova del nostro

assunto, ed è questa. Imaginate un lungo pendolo (fig. 763), sospeso al dissopra di due piccoli rialzi di sabbia *a, a,* paralleli fra loro, e supponete che la lente del pendolo stesso porti una punta volta al basso, la quale arrivi non solo a toccare, ma anche a traversare per buon tratto e l'uno e l'altro mucchio di sabbia. Indovinate bene che, facendo oscillare il pendolo, la punta abbasserà la sabbia nella direzione del suo movimento; ma lo strano si è che, mentre dovrebbe tenere sempre la stessa via, la cambia invece a poco a poco, e non segna solo una linea nei due rialzi, ma giunge ad atterrarli. L'esperimento, fatto da Foucault a Parigi, venne ripetuto a diverse latitudini, e si trovò che presso i poli il piano d'oscillazione del pendolo viene così a spostarsi più rapidamente che altrove, e con tale prestezza che in 24 ore farebbe un giro. Al contrario lungo l'equatore il piano stesso parve immobile. Ciò mostra che il piano d'oscillazione del pendolo è dappertutto invariabile, come deve essere; ma al polo sembra fare un giro nelle 24 ore, perchè lo fanno i corpi sotto di esso. Nei paesi situati tra i poli e l'equatore la cosa riesce meno sensibile, perchè qui i corpi si spostano in direzione obliqua al piano d'oscillazione del pendolo; e cessa all'equatore, ove tutto gira nel piano medesimo.

Fig. 763.

Lo stesso Foucault ideò un'altra esperienza, ancora per dimostrare il moto rotatorio della terra. Essa dipende pure dal principio di meccanica, che gli suggerì l'esperimento or ora descritto, ma ha forma più elegante. Già conoscete (216) il giroscopio (fig. 764), inventato da quel dotto. Ebbene, egli ne usò per mettere in evidenza la tesi in discorso. Dato al disco *aa* dello strumento l'impulso necessario perchè girasse con grande velocità, introdusse i perni *dd* dell'anello *cc* nei due fori oppo-

sti di un secondo anello *ee* (fig. 765), sospeso verticalmente per mezzo di un filo, ed alla parte inferiore appoggiato con una punta sopra il sostegno del medesimo filo. Non fa bisogno ch'io vi ricordi come l'asse *bb* del disco si debba mantenere costantemente orizzontale (216). Vi dirò piuttosto che a prima vista l'apparato, messo nelle accennate condizioni, sembra sottrarsi a quel principio inconcusso di meccanica; giacchè l'asse *bb* rota intorno alla retta dei perni *dd*, e l'anello *ee* gira sulla verticale del filo di sospensione, come si riconosce osservando, con un microscopio *m*, le divisioni di una lamina *i*, unita all'anello stesso. Ma ciò che potrebbe credersi un'eccezione ad un principio, che peraltro non ammette eccezioni, è la più bella prova della rotazione della terra. Non si sposta il piano orizzontale dell'anello *cc*, ma i corpi circostanti al piano medesimo che rotano colla terra. Però, girando noi colla terra, ed insieme ai corpi portati da essa, l'apparenza è proprio come se girasse quel piano, in verso contrario al nostro. E perchè si suppone fatto l'esperimento in un paese della sfera obliqua, il piano orizzontale del giroscopio riesce obliquo all'asse della terra; e per ciò, scomponendo la direzione del movimento di questa secondo due linee, l'una parallela all'asse *bb* del giroscopio, e l'altra perpendicolare ad esso, si capisce che l'apparato deve comparire rotante intorno alla verticale ed anche alla orizzontale *dd*.

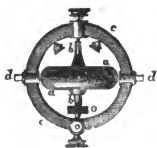
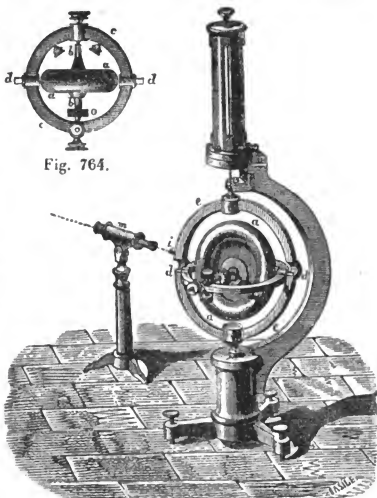



Fig. 764.

Fig. 765.

755. **Moto progressivo della terra.** Vediamo ora come si possa provare anche il moto progressivo del nostro pianeta. Innanzi tutto, conviene osservare che un simile movimento spiega bene il moto apparente del sole lungo l'eclittica. Di fatto, se il

sole sta prossimamente nel centro dell'eclittica percorsa dalla terra, è chiaro ch'esso deve sempre apparirci nella sfera celeste in un punto dell'eclittica diametralmente opposto a quello occupato dalla terra medesima, ove ci troviamo. Quando la terra arriva, per esempio, all'equinozio di primavera, il sole ci dovrà sembrare all'equinozio d'autunno. Mentre la terra percorre l'arco dell'eclittica che separa l'equinozio di primavera dal solstizio di estate, parrà a noi che il sole passi nello stesso tempo dell'equinozio d'autunno al solstizio d'inverno. Così, venendo dalla terra compito il giro dell'eclittica in un anno, per chi si trovi sulla terra medesima sembrerà che il sole abbia nel tempo stesso percorsa tutta quella linea. Chi poi riflette che l'asse PQ (fig. 766) della terra T è costantemente inclinato sul piano dell'eclittica di circa $66^\circ,32'$, capisce che nel periodo di un anno l'emisfero terrestre, illuminato dal sole, corrisponderà a quello determinato da un meridiano solo quando la terra sarà in T' e in T''', cioè nei nodi, ove il suo asse riesce perpendicolare alla linea retta che si può imaginare condotta dal centro della terra stessa a quello del sole. Di qui scaturiscono naturalmente le seguenti conseguenze. 1.° Quando la terra si troverà in questi due punti, i raggi solari percuoteranno perpendicolarmente i luoghi situati sull'equatore, i paralleli terrestri saranno in ogni istante illuminati per

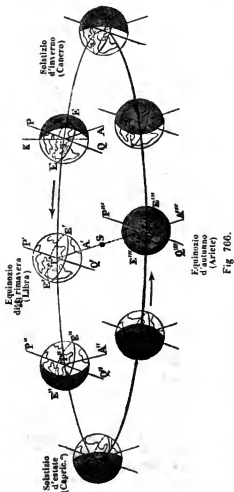



Fig. 766.

metà, ossia i giorni naturali dureranno quanto le notti; ed avremo allora l'equinozio di primavera se, essendo la terra in Libra, ci apparirà il sole in Ariete; o l'equinozio d'autunno, qualora si trovi la terra in Ariete, sicchè il sole ci sembri in Libra. 2.° Nel tempo in cui la terra passerà da Libra ad Ariete, cioè da T' a T''', il polo nord sarà costantemente illuminato, ed il polo sud si troverà di continuo nell'oscurità. Nell'emisfero boreale l'arco illuminato di ciascun parallelo sarà in ogni istante maggiore dell'arco oscuro; ed il contrario avverrà nell'altro emisfero. In questo periodo di tempo il sole sembrerà percorrere l'eclittica da Ariete a Libra, gli abitatori dell'emisfero boreale avranno l'estate, e per quelli dell'australe accadrà l'inverno. Circa la metà di quest'epoca, trovandosi la terra nel tropico del Capricorno, ed apparendo il sole nel tropico del Cancro, i primi diranno di essere al solstizio d'estate, e gli altri in quello d'inverno. 3.° Tutti questi fenomeni si scambiano per gli abitatori dei due emisferi terrestri, nell'altra metà dell'anno, quando cioè la terra va dall'Ariete alla Libra, da T''' a T', ed il sole movesi apparentemente dalla Libra all'Ariete.

Questi fenomeni venivano peraltro spiegati felicemente anche nel sistema Tolemaico. Ove si fa palese la diversa probabilità delle due ipotesi è nella spiegazione dell'aberrazione delle stelle. Sia T'T (fig. 767) una porzione dell'orbita terrestre, e facciamo l'ipotesi che un uomo dalla terra osservi la stella E. Se la terra fosse ferma in T, fatta astrazione dalle illusioni ottiche che possono dipendere dall'atmosfera, la stella E apparirebbe in E, ove trovasi realmente. Ma se la terra cammina, nel verso indicato dalla freccia, con velocità comparabile a quella della luce, il movimento luminoso si compone col moto dell'osservatore, e questi riceve un'impressione diretta secondo la risultante delle due componenti, cioè secondo *e*T; e quindi vede la stella in *e*, invece di vederla in E. Insomma è proprio come se la luce, propagandosi secondo la direzione ET, deviasse leggermente in modo d'an-

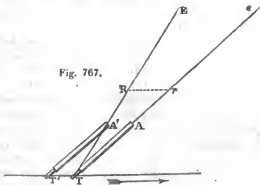



Fig. 767.

dare incontro all'occhio dell'osservatore diretto da T′ a T; giacchè l'impressione riesce la stessa sia che i corpi urtino noi, sia che noi camminando urtiamo nei corpi. Per conseguenza, girando la terra in un'orbita apparentemente circolare, le stelle situate presso i poli dell'eclittica, in un anno sembreranno moversi lungo una circonferenza. Invece, le stelle che si trovano press'a poco nel piano dell'eclittica appariranno oscillanti secondo una linea retta. E naturalmente sembrerà che le altre poste fra l'eclittica ed i poli di essa percorrano una ellisse, tanto più schiacciata quanto più vicine sono a quella.

Però, ragionando a questo modo, cioè limitandoci a dimostrare come ammettendo il moto progressivo della terra si spieghino le apparenze degli astri, ognun vede che le conclusioni saranno probabili, non mai certe. Un fatto che meglio ci assicura della cosa, è quello delle *ineguaglianze sinodiche dei satelliti di Giove.* Già sapete (425) che gli intervalli di tempo che separano le successive emersioni dei satelliti di Giove dall'ombra di questo pianeta, non sono costanti; ma che dal minimo al massimo havvi una differenza di 16′,26″. Nell'ottica, ammesso il movimento della terra e di Giove intorno al sole, da quel fatto abbiamo dedotto la misura della velocità della luce. Ma ognuno capisce che, essendo questa constatata e misurata con altri mezzi, il fatto in discorso può servire non solo a dimostrare il movimento della terra e di Giove intorno al sole, ma ancora a determinare prossimamente il raggio dell'orbita percorsa dalla terra medesima.

756. **Moto conico.** Il moto conico della terra spiega a meraviglia la precessione degli equinozj. Da quanto abbiam detto ognuno avrà compreso che i poli del mondo, altro non sono che i due punti della sfera celeste ove l'asse della terra, qualora s'imaginasse prolungato indefinitamente dall'una e dall'altra parte, incontrerebbe la sfera medesima. Se dunque l'asse della terra rota lentamente intorno al diametro perpendicolare al piano dell'eclittica, l'apparenza sarà appunto che i poli del mondo girino attorno ai poli dell'eclittica nel tempo medesimo.

757. **Moti degli altri pianeti.** Si ammette che i pianeti non si movono solo intorno al sole, ma abbiano, come la terra, anche un movimento rotatorio. Per alcuni di essi si ebbe di ciò una prova diretta, avendo ravvisate sui loro dischi delle macchie, che cambiano posto regolarmente; quanto agli altri lo si suppone per analogia. Sono dei primi Mercurio, Venere, Marte, Giove, Saturno ed Urano.

La luna, mentre gira attorno la terra, rota anche sopra un

suo diametro, inclinato ordinariamente di 1°,30′,11″ sull'eclittica. Ed è curioso che questi due movimenti si combinano in modo che l'emisfero della luna volto alla terra è prossimamente sempre lo stesso. Nel tempo che la luna percorre, per esempio, un quarto della sua orbita, rota anche di un quarto. Si dedusse ciò dall'avere osservato che l'aspetto del disco lunare non cambia mai notevolmente. Ho detto che *non cambia notevolmente,* perchè la parte visibile al contorno del disco varia in quella vece periodicamente. Se ne capisce tosto il motivo. La rotazione della luna non concorda proprio col moto di essa intorno alla terra: questi due movimenti sono eguali in durata complessiva, ossia in media, come dicono gli astronomi, ma il primo è uniforme ed il secondo è variabile. Supponiamo, per esempio, che la luna passando da L″ (fig. 768) ad L′ acceleri il suo moto, sicchè progredisca relativamente, lungo la sua orbita, più che non roti sul proprio asse: si capisce che l'asse *a*″L″ non avrà tempo, per così dire, di porsi nella posizione *a*′L′, ma riescirà in ritardo, e per conseguenza allo spettatore, situato sulla terra, scomparirà un tratto del lembo occidentale, ed apparirà in quella vece un tratto simile al lato orientale. S'indovina che si occulterebbe una parte orientale, e se ne manifesterebbe un'altra occidentale, qualora il moto progressivo ritardasse in ordine al rotatorio. A questo fenomeno si dà il nome di *librazione lunare in longitudine.* Ma qui non finisce tutto: si ripete un qualche cosa di somigliante nel verso dell'altezza; giacchè l'asse di rotazione non si mantiene inclinato sull'eclittica di un angolo costante. La librazione in questo caso è detta *in latitudine.* Havvi una terza librazione che gli astronomi appellano *diurna,* e dipende dalla posizione dell'osservatore. Perchè questi guarda la luna stando alla superficie e non al centro della terra, il centro apparente del disco lunare cambia secondo l'altezza dell'astro medesimo al dissopra dell'orizzonte. Non occorre dire che il centro apparente del disco lunare è sempre il punto della superficie lunare ove passa la retta che si può imaginare condotta dall'occhio dell'osservatore al centro della luna. Qualora, per ipotesi, l'osservatore medesimo fosse al centro della terra, la linea suddetta coinciderebbe colla linea dei centri dei due pianeti, ed il punto in discorso sarebbe costantemente il vertice dell'e-

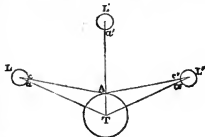



Fig. 768.

misfero volto alla terra. Ma, trovandosi invece l'osservatore alla superficie del nostro pianeta, quella prima linea coincide colla linea dei centri appena quando la luna passa al meridiano (fig. 768). In ogni altro caso le due rette accennate formano tra loro un angolo, e tanto più grande quanto più vicina all'orizzonte riesce la luna. Per conseguenza il centro apparente, ossia il punto d'intersezione della prima linea colla superficie lunare va successivamente cambiando, nel tempo che scorre fra la levata ed il tramonto della luna. Se questa è presso l'oriente, il centro del disco appare in *c*, cioè spostato verso occidente; ed essendo la luna all'occidente, il centro compare in *c'*, cioè al lato opposto del vertice dell'emisfero volto alla terra. Una simile oscillazione del centro è naturalmente accompagnata da un cambiamento nei due lembi orientale ed occidentale. In ciò consiste la librazione diurna.

I quattro satelliti di Giove ed il quinto di Saturno, percorrendo l'orbita, rotano nel medesimo tempo, alla stessa guisa della luna. Sicchè gli astronomi opinano che debba essere così per tutti i satelliti, e questi tutti, come i pianeti primarj, abbiano col moto progressivo ancora il rotatorio.

758. **Leggi di Keplero.** Copernico aveva scoperto che la terra e tutti gli altri pianeti giravano intorno al sole, ma ammetteva che le orbite dei pianeti fossero circolari, ed il sole si trovasse nel loro centro. Per ciò, onde spiegare i cambiamenti di velocità, di direzione e di grandezza apparente dei pianeti, adottava le idee dei Tolemaici, cioè supponeva che ogni pianeta si movesse lungo l'epiciclo, il quale girasse intorno al deferente. Keplero supplì a questo difetto della scienza, e sottoponendo al calcolo i risultati delle proprie ed altrui osservazioni, arrivò a stabilire le tre seguenti leggi. 1.° *Le orbite dei pianeti sono ellissi, aventi un fuoco comune, nel quale trovasi il centro del sole.* 2.° *Le aree descritte dai raggi vettori* (206) *sono proporzionali ai tempi impiegati a descriverle.* 3.° *I quadrati dei tempi periodici* (209) *stanno come i cubi delle distanze medie dei pianeti dal sole.* Quasi tutte le orbite dei pianeti sono comprese nella zona dello zodiaco (739). Si debbono eccettuare quelle di di alcuni pianeti recentemente scoperti. Il vertice dell'ellisse più vicino al fuoco occupato dal sole si chiama *perielio* (da *περι*, intorno, ed *ἥλιος*, sole), e l'altro dicesi *afelio* (*απο*, lontano, ed *ἥλιος*, sole). La terra arriva al perielio presso il tropico del Cancro, ed all'afelio nel tropico del Capricorno; sicchè d'inverno (31 dicembre) è alla minima distanza, e d'estate (29 giugno) si trova alla massima distanza dal sole.

Dalla seconda delle accennate leggi scaturisce che ogni pianeta accelera nel suo movimento quando passa dall'afelio al perielio, e ritarda quando invece va dal perielio all'afelio. In quest'ultimo punto della sua orbita ha pertanto la minima velocità, e nell'altro opposto si move colla massima prestezza.

La terza legge di Keplero fa conoscere il rapporto che havvi tra le velocità dei diversi pianeti. È manifesto che se tutti i pianeti percorressero spazj eguali, in tempi eguali, ossia camminassero colla stessa velocità, il tempo che ciascuno impiega a fare un giro sarebbe proporzionale alla lunghezza della sua orbita, ossia alla sua distanza dal sole; e quindi anche il quadrato di quel tempo sarebbe proporzionale al quadrato di questa distanza. Ma, essendo invece il quadrato del tempo in ragione del cubo della distanza del pianeta dal sole, bisogna dire che il tempo di una rivoluzione del pianeta intorno al sole cresce più rapidamente che non cresca la distanza di esso dal sole medesimo, ossia, aumentando questa, non solo diviene più lunga l'orbita, ma diminuisce anche la velocità del pianeta. Volendo esprimere la medesima cosa in termini diversi, diremo che di due pianeti il più lontano dal sole impiega un tempo maggiore di quello necessario per l'altro, a fare il giro dell'orbita, non solo perchè questa è più lunga, ma anche perchè esso va più adagio.

Le accennate leggi di Keplero spiegano le stazioni e le retrogradazioni dei pianeti, nella maniera la più semplice. Consideriamo dapprima un pianeta inferiore, per esempio Venere, e supponiamo ch'esso si trovi in V (fig. 769) al di là del sole S. Movendosi l'astro lungo l'orbita VV′V″, nella direzione indicata dalla freccia, in principio dovrà apparire animato, com'è, di moto diretto a chi lo guarda dalla terra T. Ma poscia, quando la visuale dello spettatore riescirà tangente all'orbita

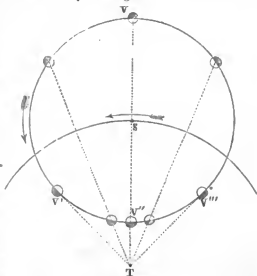



Fig. 769.

del pianeta, questo sembrerà stazionario. Finalmente, continuando esso il giro della sua orbita, da V' in V''' mostrerà apparentemente di moversi da oriente verso occidente; in vicinanza del punto V''' comparirà una seconda volta stazionario; e dopo, manifesterà di bel nuovo di moversi da occidente verso oriente. E qui potrà nascervi una difficoltà, quanto a questo modo di spiegare le stazioni e le retrogradazioni dei pianeti. Direte ch'io ho tacitamente supposta la terra ferma in T, mentre di fatto si move. Ciò è verissimo: anzi è per questo che i Tolemaici e Copernico dovevano servirsi degli epicicli, per rendersi conto dell'apparenza. Ma, ammessa la terza legge di Keplero, ogni difficoltà scompare. Non è vero che, secondo questa legge, Venere e Mercurio si movono più velocemente della terra? Ebbene se, quando la terra è in T (fig. 770), Venere trovasi in V'', nel tempo successivo, mentre la terra percorrerà la linea TT', Venere camminerà per un tratto $V''V'''$ più lungo di TT', sicchè apparirà moversi in senso diretto per l'eccesso di $V''V'''$ sopra TT'. Lo stesso si deve ripetere pel caso in cui, partendo la terra da T, Venere abbandona il punto V: chi, passando sulla terra da T in T', osserva questo pianeta, mentre va da V in V', lo vedrà moversi apparentemente, in senso retrogrado, per quanto VV' supera TT'. Con eguale facilità si possono spiegare le stazioni e le retrogradazioni dei pianeti esteriori. Perchè la terra T (fig. 771)

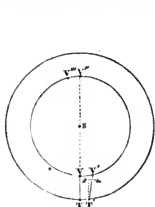



Fig. 770.

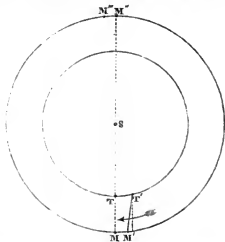



Fig. 771.

è più veloce di tutti i pianeti esteriori, così essa percorrerà uno spazio TT' nel tempo in cui un pianeta esteriore, per esempio

Marte M, descrive la linea minore MM'; sicchè parrà a noi che in questo tempo il pianeta stesso abbia camminato in senso diretto per uno spazio eguale a $TT' - MM'$. L'apparenza sarà contraria, cioè si scorgerà Marte in moto retrogrado, quando il cammino da esso percorso, in un tempo determinato, sarà $M''M''' < TT'$ percorso dalla terra nel tempo medesimo.

Quanto alle altre apparenze dei pianeti interiori ed esteriori, basta gettare uno sguardo alle loro orbite, per capire come gli interiori non possano mai vedersi in quadratura, ed invece gli esteriori si possono scorgere anche in opposizione. Allo stesso modo, s'intende come i pianeti interiori debbano presentare le fasi, volgendo alla terra talvolta tutto l'emisfero oscuro, tal'altra appena l'emisfero illuminato, e spesso una parte dell'uno ed una porzione dell'altro. E neppure si tarda a comprendere che simili apparenze sono impossibili negli altri pianeti, i quali, girando in un'orbita esterna a quella della terra, presentano sempre l'emisfero illuminato agli abitatori della terra medesima.

Dalla terza legge di Keplero si può anche dedurre una prova novella dell'assurdità del sistema Tolemaico. Difatti, chiamando T e t i tempi periodici del sole e della luna, e D e d le loro distanze dalla terra, avremo $T^2 : t^2 = D^3 : d^3$. Sappiamo essere $T = 365$ giorni, $t = 27$ giorni, e vedremo che la distanza del sole dalla terra è circa 400 volte la distanza della luna dalla terra, ossia che supponendo $d = 1$, sarà $D = 400$. Ora facciamo l'ipotesi d'ignorare uno dei quattro termini di quella proporzione, e di volerlo conoscere per mezzo degli altri tre, ammettendo che il sole giri intorno alla terra insieme alla luna, come voleva Tolomeo. Si cerchi, per esempio, T. Dalla proporzione $x^2 : 27^2 = 400^3 : 1$ si otterebbe $x = \sqrt{27^2 \,.\, 400^3}$, ossia $x = 216000$: la durata dell'anno dovrebbe essere di 216000 giorni.

759. **Principio della gravitazione universale.** Scoperte le leggi del movimento dei pianeti, nacque naturalmente il desiderio di sapere quale ne fosse la causa. Parve al genio di Newton ch'essa dovesse essere quella medesima che fa cadere i corpi alla superficie della terra, e non tardò molto a trovarne le prove. Il primo lavoro di Newton fu di calcolare esattamente le orbite dei pianeti. Conobbe che di fatto erano ellittiche, ma poco differivano dalla forma circolare. Ciò bastò perchè egli, conformemente ai principj di meccanica (209, coroll. 4.°), deducesse dalla terza legge di Keplero che *le forze centripete nei pianeti stanno in ragion diretta delle masse, ed inversa dei quadrati dei raggi delle loro orbite.*

Conosciuta la legge d'intensità della forza centripeta a cui soggiacciono i pianeti, Newton tentò di scoprirne la natura. Sospettò che questa forza fosse dello stesso genere della gravità, dacchè variava colla stessa legge (31). Si propose pertanto di risolvere il curioso problema: se la forza centripeta della luna altro non fosse che la gravità, diminuita nel rapporto inverso del quadrato della distanza di quell'astro dal centro della terra. Pare incredibile che l'uomo abbia potuto, con ragionevole speranza di riescita proporsi una somigliante questione, e più incredibile ancora che l'effetto abbia corrisposto alla speranza. Per capire ciò, bisogna ricordarsi che l'intensità della gravità ad un punto qualunque della superficie terrestre è misurata dallo spazio che un corpo ivi percorre nel primo minuto secondo della sua libera caduta. Per Milano la lunghezza di questo spazio è $9^m,8061$. Chi riflette che la distanza della luna dalla terra è circa 60 volte il raggio terrestre, intende che l'intensità della forza colla quale la terra dovrà attrarre l'unità di massa di un corpo, posto a quella distanza, sarà dunque espressa da $9^m,8061$ circa, diviso pel quadrato di 60, ossia per 3600, cioè prossimamente dal numero $0^m,002724$. Restava a verificare se tale era appunto la forza centripeta della luna. Ed ecco come si pervenne anche a questo. La circonferenza della terra è 40 milioni di metri; e quindi l'orbita lunare, essendo 60 volte la circonferenza stessa, sarà 2,400,000,000 metri. Se pertanto si divide questo numero per quello dei secondi contenuti nel mese lunare periodico, cioè per 2361600, si ottiene lo spazio percorso dalla luna in un minuto secondo, ossia la misura della velocità di questo pianeta, ed è $1016^m,7$. Ma, potendosi considerare l'orbita lunare come prossimamente simile ad un circolo, la forza centripeta F, sarà eguale a $\frac{V^2}{R}$ (208), cioè al quadrato della velocità $1016^m,7$ diviso per 60 volte il raggio terrestre, ossia per 60×6366738^m. Avremo dunque $F = \frac{1032256}{382004280} = 0,002703$: numero che ben poco differisce da quello trovato sopra come misura della energia della gravità terrestre alla distanza della luna. Fu con ciò luminosamente provato che la terra attrae la luna, come attira gli altri corpi presso la sua superficie. E se la luna non cade sulla terra, è perchè dessa ha ricevuto da principio un impulso istantaneo, che la spingeva in direzione obliqua a quella secondo la quale veniva attirata dalla terra. Anche un projettile che fosse lanciato alla superficie terrestre con una velocità tale da percorrere 7000 metri per secondo, circolerebbe perpetuamente in-

torno alla terra, senza cadervi, qualora non incontrasse la resistenza dell'aria. Il motivo di queste ultime parole è evidente: l'aria ritarderebbe a poco a poco il projettile; e allora l'attrazione lo farebbe avvicinare alla terra, i giri andrebbero vieppiù restringendosi, e finalmente il corpo urterebbe nel suolo. Ma la luna non incontra alcuna resistenza sensibile nel moversi; quindi, per inerzia, deve seguitare a moversi colla stessa velocità; nè, rimanendo così costante la grandezza della forza tangenziale (211), possono restringersi i suoi giri, e dopo uno ha dovuto farne altri, e così dovrà continuare, finchè una causa non sopraggiunga a porvi fine.

Arrivato a questo punto, Newton doveva naturalmente attribuire, per analogia, a tutti gli altri pianeti ed al sole quella medesima forza già riconosciuta nella terra. Stabiliva adunque che il sole attira tutti i pianeti, e questi attraggono i loro satelliti, come la terra attira i corpi terrestri, e come le minime particelle dei corpi terrestri si attirano fra loro. Ed a quella guisa che non solamente la terra attrae il sasso, ma anche il sasso attrae la terra, così non solamente il sole attrae i pianeti, ma questi attraggono il sole, e tutti i pianeti si attirano fra loro, ossia tutti i corpi dell'universo *si attraggono tra loro in ragion diretta delle masse, ed inversa del quadrato della distanza.*

Di qui proviene che il movimento d'un pianeta viene *turbato* dalla vicinanza degli altri pianeti; e variando le relative distanze dei diversi pianeti, cambia anche la grandezza della *perturbazione,* che l'uno soffre dagli altri. Se, per ipotesi, non esistesse che il sole ed un pianeta, questo si moverebbe intorno a quello in un'orbita esattamente ellittica; ma, dovendo passare in mezzo ad altri corpi, che ora sono da essi più ed ora meno distanti, viene, per poco sì, ma pur deviato dal suo cammino. Notevolissime, per esempio, sono le perturbazioni della luna, perchè è attirata molto fortemente anche dal sole: talvolta nel senso in cui l'attrae la terra, e tal'altra in verso contrario; ora più ed ora meno energicamente, variando la distanza che la separa da esso. Siccome poi l'attrazione è reciproca, così anche la terra nel suo movimento viene perturbata dalla luna, sebbene meno sensibilmente, perchè la massa della luna è minore di quella della terra. La nutazione dell'asse del mondo (752) non è altro che una oscillazione od una nutazione dell'asse della terra, prodotto dalla luna nel cielo lunare. Si capisce come, per tutto ciò, debbano complicarsi i movimenti dei corpi celesti, e quanta debba essere la difficoltà di calcolarli. Ma ormai non rimane più alcun dubbio della verità di questi principj, dacchè guidarono da soli alla

scoperta di un gran pianeta. Le-Verrier, nel 1846, conobbe che il pianeta Urano era notevolmente perturbato nel suo movimento. Concepì l'idea che ciò fosse l'effetto di un altro pianeta, situato a poca distanza dal primo, e sfuggito fino allora all'osservazione degli astronomi. Che più? Egli arrivò fin anco a stabilire che l'ignoto pianeta doveva a quell'epoca trovarsi in una determinata parte del cielo, ed avere una determinata massa. Pubblicata la notizia, giunse al signor Galle di Berlino, il quale appuntato il cannocchiale verso il luogo indicato, vide splendere il pianeta.

760. **Moto rotatorio e progressivo del sole**. Abbiam detto che il sole occupa il fuoco comune delle orbite dei pianeti, e ciò è verissimo. Ma non si creda ch'esso vi stia assolutamente immobile. Innanzi tutto, è da sapersi che il sole ha un moto rotatorio d'occidente in oriente, il cui periodo è di 25 gr., 16′,48″. L'equatore solare è inclinato di 7°,45′ circa sull'eclittica. Ed ecco in qual modo venne scoperto questo movimento del sole. Si è trovato che il sole, visto traverso ad un cannocchiale, si mostra qua e là coperto di piccole macchiette nere, cinte da una leggera sfumatura, o da un'aureola meno oscura. La parte centrale nera s'appella *nucleo*, ed il contorno chiamasi *penombra*. Queste macchie generalmente appajono sopra due zone, all'uno ed all'altro lato dell'equatore solare, le quali si estendono a 30 o 40 gradi al più. Il numero, la grandezza e la figura loro variano assai. Ma ciò che servì alla prova del nostro assunto fu l'aver constatato che una macchia qualunque cambia posto sul disco solare da un giorno all'altro, con movimento regolarissimo, in maniera da percorrere in 14 giorni circa l'intiero disco del sole. Da un simile movimento delle macchie solari si dedusse pertanto la rotazione dell'astro in 27 giorni e un quarto. Oltre a ciò, il sole, insieme col suo sistema, si move nello spazio verso un punto della sfera celeste, che ha per ascensione retta 259°,9′, e per declinazione boreale 34°,37′, e si trova nella costellazione di Ercole. Il viaggio ch'esso probabilmente percorre in un anno sarebbe circa una volta e mezza il raggio dell'orbita terrestre, cioè poco meno del suo proprio raggio ogni giorno, ossia 672 mila chilometri. È impossibile conoscere se desso si mova intorno ad un centro unico, ovvero se ciò accada per l'attrazione simultanea di parecchi altri corpi. Il certo è che, sebbene la celerità di questo moto sia notevolissima, la sfera celeste non riuscirà in molti secoli a cambiare d'aspetto, perchè le stelle si trovano ad una straordinaria distanza dal sole.

761. **Sistemi stellari**. Il sole, i pianeti (primarj e secon-

darj) e le poche comete periodiche formano il *sistema solare*. Ma desso è ben poca cosa, relativamente al resto dell'universo. Ogni stella fissa è senza dubbio un sole splendente di luce propria, giacchè la luce riflessa a sì enorme distanza non riescirebbe sensibile per noi. Gli astronomi ammettono anche come molto probabile che ciascuna delle stelle fisse sia circondata da un numero più o meno grande di pianeti, come il nostro sole, e formi quindi un sistema stellare. Nè ciò è mera congettura; perchè le osservazioni, che già altrove abbiamo indicate, provano che molte di esse sono fisicamente multiple, e che le une girano proprio intorno alle altre, appunto come i pianeti del nostro sistema intorno al sole. Di alcune di esse se ne calcolò anche l'orbita, ed il tempo che impiegano a percorrerla. Perchè poi lo splendere di luce propria non è essenziale agli astri, così per analogia col sistema solare si suppone, molto probabilmente, che nei sistemi stellari vi siano altri pianeti oscuri, e forse in numero maggiore dei luminosi che appajono a noi. Il sistema solare sarebbe dunque uno degli innumerevoli sistemi stellari. Tutti questi, sebbene separati da grandi intervalli, comunicherebbero tra loro per mezzo dell'etere, e pare che vi debba essere un punto il quale sia il centro del movimento di tutti questi sistemi, ossia un punto intorno al quale girino i corpi centrali d'ogni sistema stellare, o d'ogni gruppo di sistemi stellari; sicchè non è esagerazione il supporre che fors'anche tutte le stelle fisse, mentre sono tanti soli, ciascuna pel suo sistema di pianeti, siano poi tanti pianeti, per qualche altro sterminatissimo sole, il quale sarebbe il centro del moto di tutto l'universo. La nostra imaginazione si smarrisce in questi spazj immensi, ma il nostro spirito ammira e benedice la sapienza e la potenza del Creatore.

ARTICOLO TERZO

DISTANZE E DIMENSIONI DEGLI ASTRI.

762. **Distanza della terra dal sole e dalla luna**. Per capire in che modo gli astronomi sieno arrivati a conoscere la distanza della terra dal sole e dalla luna, ed in generale da un astro qualunque, supponiamo di osservare un astro E (fig. 772), da un punto A della superficie terrestre. Chi si rammenta le cose dette, circa la librazione diurna della luna, capisce subito che finchè l'astro E non passa al nostro zenit Z, non lo vedremo in quella direzione secondo la quale lo dovremmo scorgere qualora fossimo, per ipotesi, collocati al centro della terra. La di-

rezione Ae, parallela alla OE, secondo cui vedremmo l'astro dal centro della terra, è più vicina allo zenit Z che non la retta AE, lungo la quale vediamo l'astro dal punto A. L'angolo di cui aumenterebbe la distanza dell'astro dallo zenit, nel supposto passaggio dell'osservatore dal centro della terra al punto A della superficie di essa, s'appella *parallasse*. Questa dicesi *in altezza*, se l'astro è pure al dissopra dell'orizzonte; e chiamasi *orizzontale*, se l'astro riesce nel piano dell'orizzonte. L'angolo eAE, o meglio l'altro ad esso eguale AEO, è *la parallasse in altezza* dell'astro E, e l'angolo AE′O è la *parallasse orizzontale* dell'astro E′. Chicchessia, appena iniziato nella trigonometria, vede agevolmente che per sapere la distanza dell'astro dalla terra basta alla fin dei conti conoscere la parallasse orizzontale. Imperocchè, sapendosi che ogni cateto è eguale all'ipotenusa moltiplicata pel seno dell'angolo opposto, si avrà $AO = OE' \times \text{Sen. } AE'O$; da cui si ottiene $OE' = \frac{AO}{\text{Sen. } AE'O}$. Supponendo che il raggio terrestre sia l'unità di misura, si dirà che *la distanza dell'astro dalla terra è eguale all'unità divisa pel seno della parallasse orizzontale dell'astro medesimo.* Si può arrivare allo stesso risultato, determinando la parallasse in altezza dell'astro. Di fatto nel triangolo OAE si ha $AO : EO = \text{Sen. } AEO : \text{Sen. } OAE$. Ma $\text{Sen. } OAE = \text{Sen. } 90^\circ + a = \text{Cos. } a$, chiamando a l'altezza dell'astro al dissopra dell'orizzonte. Per conseguenza, avremo $AO : EO = \text{Sen. } AEO : \text{Cos. } a$; da cui si ottiene $EO = \frac{AO \,.\, \text{Cos. } a}{\text{Sen. } AEO}$; ossia, essendo $AO = 1$, $EO = \frac{\text{Cos. } a}{\text{Sen. } AEO}$: *la distanza dell'astro dal centro della terra è eguale al coseno della sua altezza al dissopra dell'orizzonte, diviso pel seno della parallasse in altezza.*

Fig. 772.

Da qui si può cavare anche la relazione tra le due parallassi. Le due proporzioni precedenti suggeriscono l'espressione $\frac{AO}{\text{Sen. } AE'O} = \frac{AO \,.\, \text{Cos. } a}{\text{Sen. } AEO}$; da cui si ha $\text{Sen. } AE'O = \frac{\text{Sen. } AEO}{\text{Cos. } a}$; oppure $\text{Sen. } AEO = \text{Sen. } AE'O \,.\, \text{Cos. } a$. Essendo poi la parallasse sempre di pochi gradi, si può scambiare il seno coll'angolo, e porre semplicemente $AE'O = \frac{AEO}{\text{Cos. } a}$; ovvero $AEO = AE'O \,.\, \text{Cos. } a$;

cioè *la parallasse orizzontale eguaglia la parallasse in altezza, divisa pel coseno di quest'altezza;* e per conseguenza *la parallasse in altezza è eguale alla parallasse orizzontale, moltiplicata pel coseno dell'altezza medesima.*

Rimane ora a vedere come si determini la parallasse di un astro. Supponete che si tratti di conoscere la parallasse della luna. Imaginatevi due astronomi situati a due punti lontani di un medesimo meridiano; per esempio, l'uno in B (fig. 773) e l'altro in C. Ciascuno appunti il cannocchiale alla luna, in quel momento di una notte convenuta nel quale essa arriva alla sua maggiore altezza, e sta per volgersi verso il tramonto; e misuri l'angolo che fa allora il cannocchiale col filo a piombo. Conosciuti così i due angoli ZBL e Z'CL, riesciranno determinati gli altri due OBL ed OCL; e per conseguenza, sapendosi l'angolo BOC, il quale è espresso dalla differenza o dalla somma delle latitudini dei due paesi B e C, si potrà facilmente costrurre un quadrilatero simile ad OBLC. Da una tale figura si dedurranno gli angoli BLO e CLO, che sono le parallassi in altezza della luna per gli osservatori posti in B ed in C. Dopo ciò, ognuno indovina come si possa calcolare la parallasse orizzontale della luna. Si trovò ch'essa varia da 53′,32″ a 61′,29″, sicchè ha un valore medio di 57′,40″. Di qui si è dedotto che la minima distanza della luna dalla terra è 55,92 × 6366738ᵐ; la massima è 63,84 × 6366738ᵐ; e la media è prossimamente eguale a 60 volte il raggio terrestre, ossia 59,88 × 6366738ᵐ = 381240271 metri.

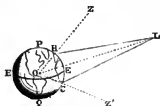



Fig. 773.

Quanto al sole, per calcolarne la parallasse, si potrebbe adoperare lo stesso metodo. Ma si è scoperto esser meglio servirsi di un altro, che dipende dall'osservazione dei transiti di Venere; esso però non è materia d'un trattato elementare. A voi basti sapere che la parallasse del sole cambia da 8″,63 a 8″,93, ed in media è 8″,6. Si conobbe pertanto che la media distanza del sole dalla terra è 23984 × 6366738ᵐ; ossia metri 152699844192.

763. **Distanza degli altri pianeti dal sole e dalla terra medesima.** Conosciuta la distanza della terra dal sole, si può sapere anche quella di ognuno degli altri pianeti dal centro del sole medesimo. Sia D la nota distanza media della terra dal sole, T il tempo ch'essa impiega a percorrere tutta

l'eclittica, x la distanza media incognita del pianeta dal centro solare, e t il tempo periodico di esso. La terza legge di Keplero ci suggerisce la proporzione $T^2 : t^2 = D^3 : x^3$; da cui si ottiene $x = D \sqrt[3]{\frac{t^2}{T^2}}$. Il tutto si riduce a computare il tempo necessario perchè il pianeta faccia un giro intero attorno al sole. Ognuno capisce che, se l'osservatore fosse nel centro del sole medesimo, e potesse vedere i pianeti, sarebbe facilissimo conoscere i loro tempi periodici. Ma, stando noi lungi dal sole, ci conviene usare qualche artificio. Il più semplice pei pianeti esteriori è quello di osservarli quando stanno direttamente opposti al sole, cioè quando traversano il meridiano a mezzanotte; perchè allora noi li vediamo nel punto della sfera celeste ove li vedremmo se ci trovassimo nel sole. È manifesto che, andando la terra più velocemente del pianeta di cui si tratta, avverrà una seconda opposizione, e forse anche una terza e più, prima che il pianeta compia il suo giro; ma allora corrisponderà ad un'altra stella fissa. Dopo uno o più giri del pianeta, si troverà peraltro un'altra volta in opposizione col sole nella medesima parte del cielo, od almeno molto prossimamente. Riunendo un buon numero di queste osservazioni, si potrà conoscere esattamente il tempo che il pianeta, visto dal sole, impiega a ritornare alla medesima stella, ossia il tempo della sua rivoluzione completa. In ordine ai pianeti interiori, Mercurio e Venere, il metodo esige una piccola modificazione, ma essenzialmente non cambia.

Dalla notizia della distanza del sole dalla terra e da un altro pianeta qualunque si cava immediatamente quella della lunghezza dell'intervallo che separa la terra stessa da questo pianeta. Ma un simile calcolo può farsi anche direttamente, ed esso gioverà a verificare le conclusioni precedenti. Di fatto, il metodo esposto per misurare la parallasse della luna è generale, e quindi serve ancora a trovare quella d'un pianeta, ed insieme la distanza di esso dalla terra, con tanto più di esattezza quanto minore è questa distanza medesima. Di qui poi è facile dedurre, per altra via, le distanze del sole dai due pianeti in discorso e da tutti gli altri. Supponiamo, per esempio, di conoscere i tempi periodici T e t della terra e di Marte, e d'aver trovata la loro distanza assoluta d; chiamando x la distanza della terra dal sole, per la terza legge di Keplero, avremo $T^2 : t^2 = x^3 : (x + d)^3$, ossia $\frac{x^3}{(x + d)^3} = \frac{T^2}{t^2}$: ove non si ha che una incognita sola. Se

invece si trattasse di dedurre la cosa da un pianeta inferiore, per esempio, Venere, allora si avrebbe $T^2 : t^2 = x^3 : (x - d)^3$, e $\frac{x^3}{(x-d)^3} = \frac{T^2}{t^2}$. Appare dunque che per calcolare la distanza della terra dal sole non occorre neppure di trovarne prima la parallasse, ma basterà cercare quella di Venere o di Marte. Già s'intende che questa seconda operazione sarà molto più facile della prima, perchè si tratta di un astro più vicino alla terra; e s'indovina peraltro che l'una potrà servire a conferma dell'altra, od a scoprire se mai fosse incorso qualche errore nel calcolo.

764. **Superficie e volume dei pianeti**. Vediamo adesso come, conoscendosi le distanze della terra dal sole e dagli altri pianeti, si possano trovare le grandezze di questi corpi. Simile lavoro suppone che si conosca anche il diametro assoluto della terra, ed il diametro apparente del sole e degli altri pianeti, cioè la lunghezza del loro diametro quale appare a chi li osserva dalla terra, ossia l'angolo visuale (418) sotto cui lo si vede dalla terra. Quanto alla prima cosa, non occorre ch'io vi dica come siasi misurata la circonferenza massima della terra, e come la geometria insegni a dedurre dalla circonferenza il diametro. Tutto saprete già da molto tempo. Vi ricorderò solo che il raggio della terra all'equatore è 6377398 metri, quello ai poli è 6356079 metri, sicchè il raggio medio terrestre è 6366738 metri. Della misura del diametro apparente dei corpi in discorso, vi dirò che per ottenerla gli astronomi hanno diversi metodi. Uno di essi consiste nel formare l'obbiettivo del cannocchiale (520), che deve servir nell'osservazione dell'astro, con due parti, l'una fissa al tubo e l'altra scorrevole sulla prima. Quando queste due parti si corrispondono esattamente, le imagini da loro prodotte coincidono; ma non è più così allorchè quella condizione non si verifica. La mezza lente mobile può essere spostata ad arbitrio dell'osservatore, per mezzo di una vite, a testa graduata. Ed ecco come si opera. Si comincia dal mirare il sole od il pianeta, tenendo la parte mobile là dove conviene che si trovi perchè le due imagini si soprappongano, ossia perchè non si abbia alla fin dei conti che un'imagine sola. Poscia, si fa rotare la vite, finchè quella parte sia spostata al punto che le due imagini riescano tangenti. È manifesto che la lunghezza di cui avrà dovuto così girare la vite, rappresenterà la lunghezza dello spazio percorso da un'imagine nello scorrere sull'altra, ossia il loro diametro apparente. Con simile processo gli astronomi hanno trovato, come abbiam detto, che il diametro apparente medio del sole è

di 32′,1″; della luna è 31′,5″. Venere, quando trovasi ad una distanza dalla terra eguale a quella della terra dal sole ha il diametro apparente di 16″,9; Mercurio nella medesima circostanza mostra il diametro apparente di 6″,7; Marte di 8″,9, ecc.

Dopo ciò, chi riflette che la parallasse del sole non è altro che il raggio apparente della terra vista dal sole medesimo, prevede la via tenuta dagli astronomi per conoscere il diametro vero di quell' astro. Imperocchè rappresentando con $2R$ questo diametro, con $2r$ quello della terra, e sapendosi che i diametri veri di due corpi posti alla medesima distanza sono proporzionali ai diametri apparenti, si avrà $2R : 2r = 32',3'' : 17'',2$, cioè al doppio della parallasse del sole, ossia $R : r = 1920 : 17,2$; da cui si ottiene $R = r \cdot \frac{1923}{17,2} = r \cdot 112$ circa. Per conseguenza, essendo il raggio terrestre eguale 6366738^{m}, il raggio del sole sarà 703074656 metri.

Allo stesso modo si può calcolare il raggio della luna. La parallasse di quest' astro è 57′,40″, il diametro apparente è 31′,5. Se con $2R$ si rappresenta il raggio della terra e con $2r$ quello della luna avremo $2R : 2r = 1^{o},55',20'' : 31',5$, ossia $R : r = 115',33 : 31',5$; e quindi $r = R \cdot \frac{31.5}{115,33} = 0,2726 \cdot R$. Così si conobbero i diametri reali di tutti gli altri pianeti.

Scoperti i diametri reali del sole e dei pianeti, nell'ipotesi che essi siano corpi prossimamente sferici, come la nostra terra, se ne dedusse tosto la superficie ed il volume, usando di quelle due notissime formole di geometria che rappresentano la superficie ed il volume di una sfera, cioè $S = 4\pi R^2$, e $V = \frac{4}{3}\pi R^3$.

Il volume approssimativo della terra è 1,079 milioni di miriametri cubici; e la superficie è di 5 milioni di miriametri quadrati.

765. **Massa della terra**. Keplero trovò i rapporti delle dimensioni del sole e dei pianeti; e Newton scoprì quelli delle loro masse. Misurata la terra, dalle leggi di Keplero si dedussero tosto le dimensioni degli altri pianeti e del sole. Parimenti, onde servirsi del principio della gravitazione universale per indovinare le masse di tutti i corpi che formano il sistema solare, bisogna innanzi tutto pesare questo pianeta sul quale viviamo. Il problema era ardito, e pare incredibile che l'uomo abbia tentato di risolverlo con ragionevole speranza d'una buona riuscita, e più incredibile ancora che l' esito abbia corrisposto alle speranze. La macchina che servì a trovare il peso della terra è la

bilancia di Cavendish. Questo apparecchio consiste in un'asta *hh* (fig. 774) di mogano, sospesa orizzontalmente ad un filo metal-

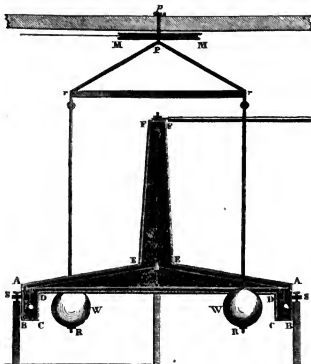



Fig. 774.

lico *lgm*, che si lascia torcere dall'una o dall'altra banda, e caricata alle estremità da due palle x, x di piombo, fra loro eguali. Due fili metallici *gh* sono destinati ad impedire la flessione dell'asta, sotto il peso delle palle. Una simile bilancia di nuovo genere è chiusa in una scatola ABCDEF di sottile cristallo, onde difenderla dall'urto dell'aria. All'esterno di questa cassa sono sospese, per mezzo di due verghe verticali, due sfere W, W, parimenti di piombo, e molto più grosse delle prime. Le due verghe si uniscono, all'alto, col pezzo *rPr*, che termina in una chiavarda *p*, dalla quale è sostenuto. Esse possono rotare intorno al loro punto di sospensione insieme alle sfere W, W, e quindi avvicinarsi più o meno dall'uno o dall'altro lato alle palle x, x, ossia passare dalla posizione W, W (fig. 775) alla posizione w, w, od accostarsi all'una piuttosto che all'altra.

Ora vediamo come il sagacissimo Cavendish abbia potuto scoprire la massa della terra, colla sua bilancia che vi ho descritto.

Fig. 775.

Supponiamo che la leva orizzontale *hh* sia in equilibrio, e le due sfere più grosse si trovino alla massima ed eguale distanza dalle altre due, cioè nel piano verticale perpendicolare alla lunghezza della leva medesima. Appena si trasportino le due grandi sfere nelle posizioni W, W, esse attirano le piccole palle x, x, e concordano nel far rotare la leva *hh* intorno al punto di sospensione, e quindi nel torcere leggermente il filo *lgm*. Se non fosse l'inerzia, le due sfere x, x si fermerebbero a quel punto dove la resistenza sempre crescente del filo, che si viene torcendo, eguaglia la forza d'attrazione: ma per l'inerzia trascorrono più innanzi; e così avviene che il filo si torca più di quel che l'attrazione di per sè potrebbe torcerlo. In conseguenza poi, quando le palline cessano dall'appressarsi ai globi, non rimangono già a quel posto, ma cominciano a retrocedere, perchè il filo si storce. Ed anche qui torna in campo l'inerzia, perchè il filo invece di storcersi fino al segno suddetto, si storce di più; e così le palline si scostano dai globi più del dovere. Quindi tornano ad appressarsi, poi si scostano di bel nuovo, e così via, con moto somigliante a quello d'un pendolo (231), se non che questo avviene pel verso verticale, e quello pel verso orizzontale. Qui si indovina l'idea curiosa che balenò al genio di Cavendish. Già sapete (234) come dal numero delle oscillazioni, che un pendolo determinato fa, in uno stesso tempo, a due luoghi diversi della superficie terrestre, si deduce il valore della gravità in quei luoghi medesimi, ossia della forza colla quale la terra attrae i corpi là situati. Or bene, si rifletta che l'asta *hh* della bilancia di Cavendish è un pendolo che oscilla in un piano orizzontale, intorno al punto di mezzo, per la sola attrazione delle sfere W, W; giacchè, per la disposizione dell'apparato, la gravità non può in alcun modo impedirne o variarne l'effetto. Supponendo pertanto che n rappresenti il numero delle oscillazioni fatte dalle piccole palle x, x, in un dato tempo, per la vicinanza delle altre due

più grosse; e chiamando N il numero delle oscillazioni che, per l'attrazione media della terra, farebbe un pendolo di massa eguale a quella delle due sfere x, x, e lungo quanto la distanza di una dal mezzo dell'asta hh, è manifesto che le forze attrattive della terra e della massa delle due sfere W, W saranno proporzionali a quei due numeri N ed n. Vale a dire, se con F si esprime la forza attraente della terra, e con f quella delle due sfere suddette, si avrà la proporzione: $F : f = N : n$. Non vi può essere difficoltà a capire, nè tampoco ad ammettere che con quel medesimo computo del quale si giovano i fisici per scoprire la differenza dell'attrazione terrestre dall'uno all'altro luogo, si possa conoscere anche la differenza fra l'attrazione della terra e quella dei due globi di piombo. Se adesso indichiamo con x ed R la massa ed il raggio della terra, e diciamo m e d la massa delle due sfere W, W, e la distanza del centro di una dal centro della rispettiva sferetta x, fermata a quel posto in cui la forza elastica del filo farebbe equilibrio all'attrazione delle sfere esterne, il principio della gravitazione universale ci suggerisce la proporzione: $F : f = \frac{x}{R^2} : \frac{m}{d^2}$. Questa, confrontata colla precedente, ci offre l'altra $N : n = \frac{x}{R^2} : \frac{m}{d^2}$; ove tutto può essere determinato esperimentalmente, fuorchè la massa x della terra, che per conseguenza si dedurrà dalla proporzione medesima. Si avrà $x = \frac{m \cdot N \cdot R^2}{n \cdot d^2}$. Eseguito il computo, Cavendish trovò che la massa della terra era uno spaventoso numero di tonnellate, cioè 6 sestilioni circa; e dividendo questo numero pel volume della terra, conobbe che la densità di essa è circa 5,48, cioè quasi cinque volte e mezza quella dell'acqua.

L'apparato descritto, al momento dell'esperienza, era posto da Cavendish in uno stanzino chiuso (fig. 776), onde fosse protetto da qualunque agitazione che avrebbe potuto essere causa di errore. Egli poi stava ad osservarlo da un pertugio fatto nel muro, ove era

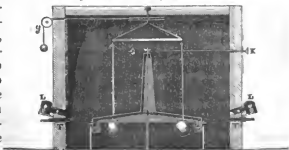



Fig. 776.

incastonato un cannocchiale. La luce necessaria per vedere le palle vi proveniva da due lucerne L, L, esterne alla camera; ed il movimento dei globi si conseguiva tirando una funicella *y*, che entrava per un quarto foro nella cameretta, e quivi si attaccava all'ordigno motore della macchina.

Le esperienze di Cavendish vennero dappoi riprese da Reich, il quale trovò che la media densità della terra sarebbe 5,44. Anche il cavaliere Carlini, dalla lunghezza del pendolo che batte i secondi sulla sommità del monte Cenisio, paragonata a quella che il pendolo stesso avrebbe dovuto avere pel solo aumento dell'altezza sul livello del mare, e dalla cognizione della massa del monte sul quale erano fatte le osservazioni, dedusse la densità della terra. I risultati di queste esperienze, corretti dal professore Giulio di Torino, in base alle notizie da poco acquistate circa la natura geologica del monte Cenisio, inducono a credere che la densità della terra sia 4,95. Questo numero non concorda pienamente con quelli trovati da Cavendish e da Reich; ma, anzichè farci sospettare della loro verità, ce ne offre una prova novella, perchè differisce poco da essi, sebbene stabilito con un metodo meno esatto. Ed è degno di considerazione che queste conclusioni si accordano mirabilmente con quanto aveva congetturato Newton, il quale pensava che la densità della terra fosse cinque o sei volte maggiore di quella dell'acqua.

766. **Masse degli altri corpi del sistema solare.** Arrivati a questo punto, il computo delle masse del sole e degli altri pianeti si riduce ad una semplice operazione di matematica elementare. Sia, per esempio, x la massa del sole, m quella della terra; diciamo F la forza colla quale il sole attira la terra, f quella con cui la terra medesima attrae la luna; e rappresentiamo con D e d le distanze della terra dal sole e dalla luna. Dal principio della gravitazione universale avremo $F : f = \frac{x}{D^2} : \frac{m}{d^2}$. Ma potendosi considerare la terra e la luna come due corpi che si muovono lungo un'orbita prossimamente circolare, le forze centripete saranno espresse dal quadrato della velocità, diviso pel raggio dell'orbita (208); ossia sarà $F = \frac{V^2}{D}$, ed $f = \frac{v^2}{d}$, indicando con V e v le velocità della terra e della luna. Per ciò, la proporzione sopra stabilita potrà cambiarsi nell'altra $\frac{V^2}{D} : \frac{v^2}{d} = \frac{x}{D^2} : \frac{m}{d^2}$; da cui si ottiene $\frac{V^2}{D} \times \frac{m}{d^2} = \frac{v^2}{d} \times \frac{x}{D^2}$, ossia $x = \frac{d \,.\, m \,.\, D^2 \,.\, V^2}{D \,.\, d^2 \,.\, v^2} = \frac{m \,.\, D \,.\, V^2}{d \,.\, v^2}$. Si troverà la velocità della terra

e quella della luna col metodo che già conoscete (759), cioè dividendo la lunghezza delle loro orbite pel numero di secondi contenuti nei loro tempi periodici.

Per sapere le masse dei pianeti Giove, Saturno, Urano e Nettuno, fatto il computo dell'orbita e del tempo periodico di uno dei loro satelliti, si tenne la stessa via che abbiamo ora indicata. Quanto agli altri pianeti (Mercurio, Venere e Marte), che non hanno satelliti, bisognò calcolare le perturbazioni che ognuno di essi produce sugli altri corpi del sistema solare, e di qui dedurre la loro massa.

Densità del sole e dei pianeti e gravità alla loro superficie. È inutile dire che dividendo la massa di un pianeta pel volume che gli corrisponde, si ottiene evidentemente la *densità* di esso. Accennerò piuttosto ad una curiosa conseguenza che scaturisce dal fin qui detto, ed è che la gravità varia notevolmente dalla superficie di un pianeta a quella di un altro. Chi avesse il desiderio di conoscere il rapporto di queste forze alle superficie della terra e di un altro corpo del sistema solare, dovrebbe dividere il rapporto delle masse pel quadrato del rapporto dei raggi dei due corpi. Così, per esempio, rappresentando con 1 la gravità alla superficie della terra, è manifesto che alla superficie del sole la stessa forza sarebbe espressa dal rapporto delle masse, cioè da 354936, qualora i raggi dei due corpi fossero eguali. Ma essendo il raggio del sole 112 volte quello della terra, converrà dividere il numero precedente pel quadrato di 112, ossia per 12544; e da qui si ottiene 28,30 come espressione dell'energia della gravità alla superficie del sole.

767. **Principali elementi del sistema solare**. Nella tavola seguente vi offro i risultati dei ragionamenti fin qui esposti circa il computo delle distanze, dei volumi, delle masse, ecc., che hanno i corpi del sistema solare.

Nome dei pianeti	Rivoluzione siderale in giorni medii	Durata della rotazione	Inclinazione	Distanza media dal sole	Diametro apparente alla loro media dist. dalla terra	Diametro apparente alla distanza = 1
		g. o. m.				
Sole	—	25 12 0	—	—	32,1",80	32',3",3
Mercurio	87.969258	0 24 5	7° 0' 8"	0,3870987	6",68	6',7
Venere	224,700787	0 23 21	3 23 35	0,7233322	16",40	16",9
Terra	365,256374	0 23 56	0 0 0	1,0000000	17",20	17",2
Marte	686,979646	0 24 37	1 51 2	1,5236913	5",80	8",9
Giove	4332,584821	0 9 55	1 18 40	5,202798	38",35	193"
Saturno	10759,219817	0 10 30	2 29 28	9,538852	17",76	155"
Urano	30686,820830	—	0 46 30	19,182639	4",24	75"
Nettuno	60126,72	—	1 46 59	30,03697	3"6	81"

Nome dei pianeti	Diametro reale	Volume	Massa prendendo il sole per unità	Massa prendendo la terra per unità	Densità	Gravità alla superficie
Sole	112,02	1.4041928	1,00000	354,936	1,42	28,651
Mercurio	0,39	0,060	1 : 3000000	0,050	6,84	0,485
Venere	0,97	0,957	1 : 401847	0,889	5,10	0,924
Terra	1,00	1	1 : 354936	1,000	5,55	1,000
Marte	0,51	0,140	1. : 2680337	0,133	5.49	0,505
Giove	11,62	1425,728	1 : 1050	334,044	1,29	2,540
Saturno	9,18	734,359	1 : 3512	101,821	0,73	1,141
Urano	4,75	81,75	1 : 24000	22,334	0,82	0,647
Nettuno	6,36	105,13	1 : 14400	24,655	1,21	1,10

Da questa tavola appare che, rappresentando con 10 la distanza della terra dal sole, le distanze medie dei pianeti si possono press'a poco rappresentare come segue:

Per Mercurio $4 = 4 + 0 \times 2^0$
Per Venere . $7 = 4 + 3 \times 2^0$
Per la Terra $10 = 4 + 3 \times 2^1$
Per Marte . $16 = 4 + 3 \times 2^2$
Per gli Asteroidi $28 = 4 + 3 \times 2^3$
Per Giove . $52 = 4 + 3 \times 2^4$
Per Saturno $100 = 4 + 3 \times 2^5$
Per Urano . $196 = 4 + 3 \times 2^6$

Volendo esprimere la medesima legge in altri termini, si dica che, scrivendo di seguito i numeri 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, ciascuno dei quali, fatta astrazione dal primo, è doppio dell'antecedente, ed aggiungendo ad ognuno di essi il 4, si ottengono i numeri 4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196, che prossimamente indicano le rispettive distanze dei pianeti dal sole. Questa legge è conosciuta sotto il nome di legge di Bode. Per Urano il numero da essa supposto non coincide col vero, ma vi differisce poco: quanto a Nettuno poi la differenza è notevole; giacchè, secondo quella legge, la distanza del pianeta dal sole dovrebbe essere espressa da 388, invece lo è appena da 300,4.

Onde vi facciate anche un'imagine delle grandezze relative dei pianeti, indicate nella tavola precedente, vi rappresento (fig. 777) i pianeti stessi per mezzo di circoli aventi raggi proporzionali ai raggi veri di quei corpi.

768. **Distanza delle stelle.** Generalmente la parallasse delle stelle è nulla, e quindi si suppone che la loro distanza dalla terra sia indefinita. Il certo è che la stella più vicina al sistema solare è per lo meno lontana da esso di 206,265 volte la distanza della terra dal sole. Epperò, facciamo l'ipotesi che quest'ultima lunghezza sia di un metro, e per conseguenza l'immensa sfera del diametro di 8,225,470,400 chilometri, nella quale è contenuto il sistema solare, si riduca ad una sfera del diametro di 60 metri: la distanza della stella più vicina alla super-

ficie di questa sfera, ossia l'altezza dello spazio privo di stelle, che circonda per ogni parte il sistema solare così impiccolito, do-

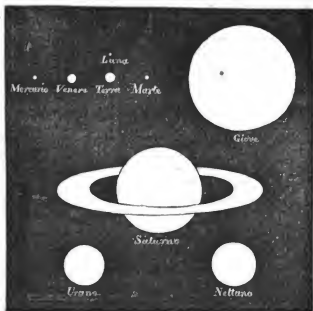



Fig. 777.

vrebbe essere ancora per lo meno di 206 chilometri. Tale distanza è immensa: eppure è probabile che, poche eccettuate, tutte le altre stelle si trovino al di là di una distanza 6 od anche 7 volte maggiore di quella. Perciò, la luce che dal sole si trasmette a noi in 8′,13″, ed in sei ore circa ci arriva da Nettuno, impiega tre anni e tre mesi per propagarsi fino alla terra, partendo da una delle stelle più vicine alla terra medesima. Forse ve ne saranno molte tanto discoste da qui, che la luce di esse per giungervi dovrà viaggiare migliaja d'anni.

ARTICOLO QUARTO

FISICA COSTITUZIONE DEI CORPI PRINCIPALI APPARTENENTI AL SISTEMA SOLARE.

769. **Ipotesi di Laplace circa la formazione del sistema planetario.** L'universo al principio della sua esistenza non aveva l'aspetto che ora ci mostra. Dio creò la materia, dandole quelle proprietà che lo studio della natura ci ha rivelate

in essa, e forse altre che ancora ci sono ignote; ma lasciò che la materia stessa, obbedendo alle leggi che scaturivano naturalmente da quelle proprietà, si costituisse nello stato attuale. La prima questione che si affaccia pertanto al pensiero di chi vuol sapere qualche cosa circa la natura fisica del sole e dei pianeti, è: qual fosse primitivamente la condizione di questi corpi? Laplace suppone che da principio tutta la materia dei corpi, che formano il sistema solare, fosse una massa gasosa, rotante intorno ad un proprio diametro, e molto rara, per effetto della elevatissima temperatura a cui si trovava. Col progredire del tempo, si sarebbe raffreddata a poco a poco, e nell'atto stesso, prevalendo l'effetto dell'attrazione a quello dell'espansione, avrebbe dovuto condensarsi, ma gradatamente e con grande lentezza. Durante tale operazione, prima che il condensamento fosse neppure vicino alla liquefazione, dall'equatore di questa massa girante e condensantesi si sarebbero staccati diversi ammassi di materia. Di qui sarebbero nati i pianeti, e quindi anche la terra, mentre la massa principale avrebbe formato il sole. Tutte queste porzioni di materia così ripartite nello spazio non dovevano riescire contemporaneamente al medesimo grado di condensazione o di consistenza; ma le più piccole dovevano avanzare le altre. Per ciò, sebbene la parte esterna del pianeta sul quale viviamo noi sia già consolidata da parecchi secoli, il sole può essere ancora attualmente allo stato gasoso, ossia in uno dei primi stadj pei quali sono passati la terra e tutti gli altri pianeti.

770. **Costituzione fisica del sole.** Credono dunque gli astronomi che il sole sia un corpo in combustione, ricoperto da uno strato di materia mobilissima, e sommamente incandescente. La parte centrale, che appellano *nucleo*, può essere solida, liquida o gasosa; e l'involucro esterno è aeriforme, e chiamasi *fotosfera*, giacchè è quello che ci apporta la luce. Il nucleo è più caldo, ma meno luminoso della fotosfera. A prima giunta ciò potrebbe sembrare in opposizione alle leggi di fisica; ma non è così. Il signor Deville ha dimostrato che nella fiamma del miscuglio d'ossigeno e d'ossido di carbonio, la temperatura della punta interna è elevatissima, mentre l'inviluppo esterno, molto più splendido, mostra di essere meno caldo. E potè osservare che là i due gas vi si trovano mescolati, e qui invece sono combinati. Per analogia, si suppone pertanto che nel sole le sostanze gasose della superficie, raffreddandosi, prima si uniscano fra loro, e divengano incandescenti; e poi scendano verso il centro del sole, mentre altre più calde salgono ad occupare il posto di quelle. Lo splendore del sole è più intenso verso il centro che

presso i lembi. Di più, il disco solare, osservato cogli opportuni strumenti, apparisce formato da tanti piccoli punti luminosi vivissimi, e sparsi su di un fondo meno lucido; sicchè l'insieme della superficie presenta l'aspetto di una minutissima rete. Questi punti, che assomigliano in apparenza a tanti granelli, hanno ricevuto il nome di *granulazioni:* sono ovoidi ed allungati, e furono paragonati ai grani di riso. In qualche parte del disco solare questi grani sono così vicini che riescono a formare gruppi di luce più viva, i quali chiamansi *luculi* se piccoli, e *facole* quando siano per poco estesi. Inoltre, come già abbiam detto, la superficie solare mostra diverse macchie (760). Sul contorno di queste le granulazioni sono più fitte e più allungate che altrove; e così vi formano le facole. L'asse maggiore di simili grani è perpendicolare al perimetro della macchia; e sembra ch'essi corrano verso il centro della macchia stessa, di cui ne cambiano frequentemente la forma, tramutandola, per esempio, da circolare in un'altra irregolarissima. La conseguenza che di qui scaturisce, come osserva il P. Secchi, è che la superficie solare sia realmente coperta da molte fiamme, le quali si volgono là dove la loro continuità viene interrotta, e sembrano correre a riempire un vuoto rimasto. Simili correnti non hanno sempre direzione rettilinea, ma spesse volte sono tortuose, specialmente nelle macchie grandi ed irregolari. L'osservazione conferma così l'esistenza di quelle correnti, che la teoria aveva presupposte. Dai fatti, continua il P. Secchi, siamo condotti ad ammettere che le macchie sono veri crateri, analoghi a quelli che vediamo nel nostro globo e nella luna; ma colla grande differenza che essi sono formati non in una materia solida, ma in una fluida. Venendo a squarciarsi la fotosfera, per effetto delle correnti che la attraversano, riesce a noi scoperto il nucleo del sole meno luminoso. Le granulazioni, i luculi e le facole sono le cime delle ondicelle più o meno spezzate, e più o meno aguzze, che si sollevano sull'atmosfera solare, e per ciò appajono più lucide.

Calorico irradiato dal sole in un anno. Pouillet, dopo molte esperienze e col sussidio del calcolo, pervenne a stabilire i due seguenti teoremi. 1.° *Se la quantità totale di calorico, che la terra riceve dal sole nel corso di un anno, fosse distribuita uniformemente sopra tutti i punti della terra, e venisse tutta impiegata a fondere del ghiaccio, essa sarebbe capace di ridurre a liquidità uno strato di ghiaccio, che coprisse la terra, ed avesse lo spessore di* $30^{m},89$, *ossia circa* 31 *metri.* 2.° *Se la quantità totale di calorico emessa dal sole fosse esclusivamente impiegata a fondere uno strato di ghiaccio applicato sul globo stesso del*

sole, che lo cingesse in ogni parte, questa quantità di calorico sarebbe capace di fondere, in un minuto, uno strato dello spessore di 11^{m},80 *ed in un giorno uno strato di* 16992^{m}, *ossia di* 4 *leghe ed un* $^{1}/_{4}$.

771. **Luna**. Ad occhio nudo si scorge che la superficie della luna non è uniformemente lucida. Se la si osserva con un buon cannocchiale, si trova ch'essa è coperta di molte prominenze irregolari, le quali sono vere *montagne*. Si veggono anche notevoli estensioni piane, che si appellano *mari*, sebbene consti non esservi in esse liquido di sorta. Delle montagne alcune sono disposte in lunghe catene, come quelle che diconsi *Appennini, Alpi, Caucaso*, ecc.; ed altre hanno figura rotonda, e presentano al vertice una gran cavità circolare, sicchè assomigliano ai crateri dei nostri vulcani, e perciò si dicono ancor esse *crateri lunari*. Nella superficie della luna si osservano inoltre molti solchi tortuosi, che sembrano letti di fiumi disseccati, e si chiamano *rigole*. D'ordinario esse non sono più larghe di mezzo miglio, e lunghe per qualche centinajo; onde è probabile che una volta fossero proprio canali d'acqua. La luna non è circondata da atmosfera sensibile; epperò non sonvi acque alla superficie di essa. Della qualità dei materiali che la compongono sappiamo nulla. Il certo si è che, sebbene ci paja molto splendida, non riflette la luce meglio delle nostre pietre e terre più oscure. Pare che lo stato superficiale della luna sia invariabile, nè coperto di lussureggiante vegetazione come la terra.

772. **Pianeti**. Come la luna, così tutti i pianeti sono corpi opachi, che divengono luminosi, riflettendo la luce che ricevono dal sole. La terra osservata dalla luna, mostrerebbe prossimamente l'aspetto che la luna stessa offre a noi, sebbene apparirebbe di superficie quadrupla. Mercurio è probabilmente circondato da una atmosfera, e spesso appare macchiato. L'atmosfera di Venere è certa, e le macchie sono più distinte di quelle di Mercurio. Inoltre, si sospetta che alla superficie di Venere, avvengano fenomeni luminosi, simili alle nostre aurore polari. Marte ha colore sensibilmente rosso; e colorate sono pure le macchie che si scoprono nel disco di esso. La più grande di queste macchie ha l'apparenza di un triangolo azzurro, dai vertici del quale partono tre rami, che formano quasi un gran canale in mezzo a due parti rosse. Presso i poli del pianeta si scorgono due altre macchie bianche o giallognole, di forma irregolare, ed anche variabile. Per spiegare queste apparenze, gli astronomi suppongono che le parti *rosse* di Marte siano continenti, le *azzurre* mari, e le *bianche* ammassi di ghiaccio, di neve o di nubi. Il

pianeta di cui si tratta è probabilmente involto in una atmosfera più tranquilla, e meglio trasparente della nostra.

Dei pianetini poco o nulla possiamo dire. Sono piccolissimi: i più grandi si credono minori della Francia. La luce che irradiano è debolissima; e le orbite che percorrono intralciatissime.

Giove è alquanto schiacciato ai poli, ed accompagnato da una atmosfera, ove compajono alcune fascie, irregolari e simili a grandi zone di nubi. Gli astronomi suppongono che nell'involucro aeriforme di Giove avvengano meteore affatto analoghe a quelle che si compiono nell'atmosfera terrestre.

Il più meraviglioso fra i corpi del sistema solare è Saturno. Le zone di questo pianeta mostrano tinte diverse. Sotto l'equatore se ne scorge una di colore giallo: al dissopra ne compare una seconda rossastra; a cui tengono dietro altre, di tinte varianti tra il giallo ed il cinereo. Il colore della calotta assomiglia a quello del piombo. L'altro emisfero compare similmente diviso a zone colorate, ma le tinte non sono eguali a quelle del primo. Anche gli anelli sono formati da parecchie zone diversamente lucide. Fra l'anello interno ed il pianeta si scorge una specie di leggerissima atmosfera trasparente, di color cenerino, che appellasi l'*anello nebuloso*. Meno ancora posso dirvi quanto agli altri due pianeti, Urano e Nettuno. Il primo mostra colore giallo, ed il secondo pare di tinta leggermente verde.

773. **Comete**. Le comete non irradiano luce propria, ma ci riflettono quella che ricevono dal sole. Le loro masse sono piccolissime, giacchè, passando vicino ai pianeti, non ne disturbano sensibilmente il movimento, ma sono dai pianeti stessi deviate molto notevolmente nel loro corso. I volumi però di questi corpi erranti sono spaventosi. Gli astronomi pensano che arrivino spesso ad essere migliaja di volte il volume del sole. Scaturisce da ciò che minima deve riescire la densità delle comete. E di fatto, traverso ai loro enormi volumi si possono scorgere le più piccole stelle, quando pure tra il nostro occhio e l'astro si trovi il nucleo della cometa. Riflettendo che simili stelle ci vengono nascoste anche dalle più tenui delle nostre nebbie, si potrà avere un'idea della piccolissima densità che hanno le comete. Havvi chi non teme d'asserire che desse sono milioni di volte più rare dell'aria che resta nel vuoto fatto colle nostre migliori macchine pneumatiche. Le comete sono dunque leggerissime nubi od ammassi di vapori, che vanno percorrendo lo spazio planetario; ed è probabile che qualche volta escano da qui, per entrare in un altro sistema stellare. Il nucleo non sarebbe che una porzione di simile massa meno rarefatta.

774. Stelle cadenti — bolidi — aeroliti. Ci rimane a dire qualche cosa delle stelle cadenti (758). Non v'è notte, così si esprime un giornale scientifico, che un osservatore, per poco che si fermi a contemplare il cielo stellato, non vegga alcuna di queste stelle solcare rapidamente un tratto più o men vasto del cielo, lasciando spesso dietro a sè una traccia di luce. Di esse se ne contano da quattro a otto per ora; e si chiamano *sporadiche,* perchè si mostrano alla spicciolata, con direzioni svariatissime, e ad intervalli abbastanza lunghi ed ineguali. Ma in ogni anno, verso il 10 o l'11 d'agosto, la frequenza e la moltitudine delle stelle cadenti si fa assai maggiore. Queste si appellano *periodiche.* Esse d'ordinario partono dallo spazio compreso tra Perseo e Cassiopea: molte vanno a gruppi, con direzioni parallele; ma altre divergono più o meno. Il numero di tali stelle in un'ora varia un po' da un anno all'altro, e dall'uno all'altro luogo: in media non differisce molto dal 100. Nell'anno corrente, il P. Alessandro Serpieri, al giorno 10 d'agosto ne contò 115 per ora; ed il can. Pietro Parnisetti dice d'aver registrate 92 ad ogni ora dello stesso giorno.

Oltre a questo periodo d'agosto, se ne osservà un altro nel mese di novembre. La quantità delle stelle cadenti che si scorgono a quest'epoca varia moltissimo: talvolta non supera quella d'agosto, e tal'altra invece diviene così straordinaria che il cielo sembra gittare per più ore una pioggia continua di razzi e di fiamme. Il massimo sembra ripetersi ad ogni 14 anni circa. Esso fu splendidissimo nel 1799, e poi di nuovo nel 1833. Negli anni intermedj il numero delle stelle cadenti nel mese in discorso andò gradatamente decrescendo fin verso il mezzo di questo intervallo; poi cominciò a crescere fino al 1833; dopo di che tornò a scemare. In ambedue gli anni suddetti la gran pioggia di stelle cadenti fu osservata nella notte del 12 al 13 novembre, specialmente nell'America. Il cielo pareva solcato per ogni parte da miriadi di globi e di strisce di fuoco a più colori: in un luogo solo, durante nove ore di osservazione, se ne poterono contare più di 140,000. Lo spettacolo durò tutta la notte; ed anche dopo levato il sole seguitarono a mostrarsi alcuni globi dei più grandi. Pel 13 o 14 novembre dell'anno venturo (1867) si aspetta un diluvio di stelle paragonabile ai due dei massimi precedenti; ed il novembre di questo anno ce ne ha dato buon indizio. Le regioni favorite ora furono l'Europa e l'Africa. Il Phipson a Londra vide cominciare lo spettacolo alle ore 9 e 20' della sera nel 13 novembre, con una gran meteora, a cui tennero dietro altre moltissime, tutte provenienti dalla costellazione

del Leone. Il loro numero giunse verso mezzanotte ad oltrepassare le 2500 per ora; ma tra le ore 12 $^1/_2$ ed 1 $^1/_2$, che fu per Londra il massimo dell'apparizione, il Phipson non bastò più a contarle, ed altri le stimarono a più di 3000. Per gli Italiani il grandioso fenomeno cominciò dopo mezzanotte, verso un'ora; ed il suo massimo fu verso le 2 $^1/_4$, durante il quale la moltitudine delle scintillanti meteore era sì grande che difficilmente poteansi contare; e dovevano essere, in tutto il cielo, parecchie migliaja all'ora. Verso le 3 tutto era finito. La costellazione dove le stelle cadenti apparvero in maggior copia, e da cui parevano raggiare come da centro, fu quella del Toro, e specialmente del Leone, quale fu anche nel 1833. Le meteore per lo più andavano a gruppi, e nello stesso punto del cielo si succedevano rapidamente parecchie insieme; e cessate in quello, comparivano in un altro poco distante.

Domanderete adesso cosa sono queste stelle cadenti? Si tiene come certo ch'esse siano frantumi o polvere di materia, girante per l'infinità degli spazj celesti, ora a gruppi e sciami immensi, ora alla spicciolata e solitarj. Simili ammassi di minutissimi elementi s'appellano *nubi cosmiche;* e, secondo l'idea del celebre astronomo Schiaparelli, direttore dell'Osservatorio di Milano, avrebbero potuto formarsi per la concentrazione locale della materia sparsa negli spazj celesti, in modo analogo alla cristallizzazione dei corpi chimicamente disciolti nei liquidi. I movimenti di queste nebbie in mezzo ai corpi dell'universo, come osserva il medesimo dotto, sono paragonabili a quelli delle stelle fisse, e probabilmente dovute a cause analoghe. Quando le particelle di una nube cosmica, entrando nella sfera d'attrazione del sole, vengono ad incontrarsi sull'eclittica col nostro pianeta, attraversano con velocità prodigiosa l'atmosfera di esso; ed ivi infiammandosi, per l'attrito coll'aria, mentre trasvolano, gittano vivi splendori. L'egregio astronomo milanese dimostra che, « qualunque sia la forma e l'estensione di una nube cosmica, essa non può (salvo rarissime eccezioni) penetrare negli spazj più interni del sistema solare, se non dopo esser stata trasformata in una corrente parabolica, che può impiegare anni, secoli e miriadi di anni nel passare parte per parte al perielio, formando nello spazio un fiume di dimensioni trasversali piccolissime rispetto alla sua lunghezza. Di tali correnti quelle che sono incontrate dalla terra nel movimento annuale, rendonsi a noi visibili sotto forma di pioggie meteoriche divergenti da un apice. Il numero delle correnti meteoriche, così continua lo Schiaparelli, attraversanti in ogni possibile direzione e distanza gli spazj del sistema so-

lare, è verosimilmente molto grande. L'enorme rarità della materia, in esse contenuta, permette che tali correnti s'intersechino vicendevolmente, senza turbarsi. Esse possono subire trasposizioni e deformazioni progressive nello spazio, come fiumi che lentamente vadano cangiando il loro letto. Possono subire interruzioni, e diventar talora doppie o multiple: e ben anche, in particolari circostanze, divenire anelli elittici chiusi. Le stelle cadenti di novembre sono, a quanto pare, parti di un tale anello in via di formazione. La materia delle correnti paraboliche, oltrepassato il perielio, ritorna agli spazj in uno stato di dispersione maggiore di quello che aveva luogo prima del passaggio. In casi particolari, come quando la corrente incontra un pianeta, possono nascere fortissime perturbazioni e separazioni di alcune stelle meteoriche in orbite speciali. Tali stelle, da quel momento, possono dirsi veramente *sporadiche*. Così le stelle meteoriche appartengono veramente alla categoria delle stelle; ed il nome di *stelle cadenti* esprime precisamente la verità delle cose ».

Arrivato fin qui l'illustre astronomo fu naturalmente condotto a paragonare le stelle cadenti alle comete. Trovò grande analogia fra questi corpi, sia per la natura delle orbite descritte, quanto per la loro origine; e stabilì che havvi fra loro quella relazione che hanno i piccoli pianeti, situati fra Marte e Giove, coi pianeti maggiori. La piccolezza della massa è nell'uno e nell'altro caso compensata dal numero. Concepita questa idea, egli si alzò ad una più ardita. Gli parve probabile l'esistenza di sistemi misti di stelle meteoriche e comete, e, confrontando le orbite delle stelle cadenti d'agosto con quella della gran cometa del 1862, ne conobbe l'identità. Da qui ne inferisce la veramente inaspettata conclusione che questa cometa altro non sia che uno degli asteroidi d'agosto, e probabilmente il principalissimo fra tutti, ossia il nucleo della loro nube. Lo stesso risultato ebbe dal confronto dell'orbita della prima cometa del 1866 con quelle degli asteroidi di novembre. Dopo che, come osserva il P. Secchi, « comete famose si sono attenuate, spezzate e disciolte sotto i nostri occhi », non s'incontra difficoltà nell'ammettere che « le comete e le stelle cadenti siano corpi della stessa famiglia, od almeno queste siano in certo modo il pulviscolo di quelle ».

Quanto alla luce diffusa in tutto il cielo nelle notti di copiose piogge meteoriche, il sagacissimo P. Cavalleri opina ch'essa si debba attribuire alle miriadi di piccolissime stelle cadenti, invisibili ad occhio nudo, che probabilmente accompagnano le più grandi.

I *bolidi* sono globi di fuoco che appajono improvvisamente

nel cielo, diffondendo una luce vivissima, spesse volte colorata, e presto si estinguono, dando luogo in qualche caso ad una forte detuonazione. Nell'estate del 1862, circa le due ore pomeridiane, a Monza e nella Brianza si ebbe lo spettacolo di un bolide grande e variopinto, che, ad onta della luce del giorno, apparve brillantissimo. La città d'Urbino, nella sera del 4 giugno 1862, fu illuminata, con magnifico effetto, da un grosso bolide che si è spento detuonando con tanta energia da scuotere financo i vetri delle finestre.

Gli *aeroliti* sono pietre che cadono dal cielo. Gli storici antichi citano frequentemente esempj d'un simile fenomeno. L'Arago nella sua astronomia espone un elenco di 300 e più cadute o piogge di sassi, delle quali non meno di 100 avvennero nel nostro secolo. D'ordinario questi aeroliti pesano da uno a tre chilogrammi. Ma ve ne sono di molto più grossi. Da poco tempo il maresciallo Bazaine ha fatto trasportare in Francia una pietra meteorica del peso di 780 chilogrammi, che si trovava nel villaggio di Charcas al nord-est di Messico, e dovrà comparire a Parigi nell'Esposizione Universale dell'anno venturo. Nelle pietre meteoriche si scoprirono i seguenti corpi: ossigeno, solfo, fosforo, carbonio, silicio, alluminio, magnesio, calcio, potassio, sodio, ferro, niccolo, cobalto, cromo, manganese, rame, stagno e titanio. Le composizioni più abbondanti sono quelle di ferro e di niccolo.

I bolidi e gli aeroliti non differiscono dalle stelle cadenti che per grandezza. Lo splendore, il colore e la detuonazione dei bolidi non sono che l'effetto della combustione del corpo, che, quando sia violenta, è accompagnata anche dalla suddivisione del corpo stesso, e quindi da uno scoppio. E perchè nell'analisi chimica degli aeroliti non si trovò corpo che non fosse già posseduto dalla terra, come osserva lo Schiaparelli, « la similitudine di composizione di tutti i corpi visibili dell'universo, già fatta probabile dalle ricerche spettrali, acquista un nuovo argomento di probabilità ».

METEOROLOGIA

775. **Divisione di questo trattato**. Incominceremo la *meteorologia* (6) dall'esporre le cose più importanti a sapersi circa la temperatura e l'umidità dell'aria che involge la terra. Poscia, esamineremo i movimenti di questa enorme massa gasosa, cioè i venti e le loro cause. Nel terzo articolo poi dovrò intrattenervi dei fenomeni che avvengono nella stessa atmosfera terrestre. Sarò breve, perchè non abbia ad oltrepassare di troppo i limiti che mi aveva stabiliti; ma spero che il trattato non riescirà per questo incompleto.

ARTICOLO PRIMO

TEMPERATURA ED UMIDITÀ DELL'ATMOSFERA.

776. **Temperatura media di un luogo**. L'atmosfera, ossia lo strato d'aria, alto circa 400 chilometri, che involge la terra, ha una specialissima importanza nella maggior parte dei fenomeni che avvengono sul nostro pianeta. Dessa serve alla respirazione degli animali (307), alimenta il fuoco (543), trasmette la parola e tutte le armonie dei suoni (365), devia dal loro cammino i raggi del sole (443) per donarci l'aurora ed il crepuscolo, ne disperde i differenti colori (466 e 473) per abbellire la levata e il tramonto dell'astro medesimo, e produrre tutte quelle combinazioni di luce e di prospettiva che incantano pittori e non pittori. Nè a questi soli officj venne destinata l'atmosfera dal sapientissimo Creatore. Un simile oceano gasoso distribuisce sulla superficie della terra il calorico e l'umidità. Senza di esso, i climi sarebbero o troppo caldi o troppo rigidi, ed in un medesimo luogo si passerebbe dall'eccessivo calore della giornata al freddo intenso, che risulterebbe, durante la notte, pel raggiamento affatto libero. L'atmosfera si comporta dunque come un regolatore di calorico alla superficie della terra. La media aritmetica delle temperature dell'aria, osservate in un paese, di ora in ora, per una giornata, si chiama la *temperatura diurna* del luogo stesso. Essa equivale prossimamente alla media della massima e della minima temperatura che presenta l'aria durante le 24 ore. Perciò i fisici, onde sapere la temperatura diurna di un sito qualunque, dividono per due la somma delle temperature più alta e più bassa segnate da un termometro a massimo ed a mi-

nimo, lasciato ivi per tutto quel tempo. Già s'intende che un simile termometro dovrà essere difeso dai raggi solari, e posto in condizioni tali che nessuna causa estranea possa cambiarne l'indicazione. La media aritmetica delle 30 o 31 temperature che corrispondono ai giorni di un mese, si dice la *temperatura mensile* del luogo, ove le osservazioni vennero fatte. La *temperatura dell'anno* è la media delle dodici mensili; e la media di parecchie temperature annuali appellasi la *temperatura media del paese.*

Temperatura media dei paesi situati a diversa latitudine. I raggi solari percuotono i diversi punti della superficie terrestre sotto diversa obliquità. Quindi (643) la temperatura media dei punti d'un medesimo meridiano diminuisce in proporzione della loro distanza dall'equatore. Ma una tale varianza, per molte cause che vi indicherò poi, non è regolare, sicchè tutti i punti di uno stesso parallelo non hanno eguale temperatura media. Le linee che si possono imaginare condotte pei diversi punti della superficie terrestre aventi la stessa temperatura media si chiamano *linee isotermiche.* Lo spazio compreso tra due linee isotermiche si chiama *zona isotermica.* I meteorologisti suppongono divisa la superficie d'ognuno dei due emisferi terrestri in sette zone isotermiche. La prima è la *zona torrida,* od *equatoriale,* che comprende i paesi la cui temperatura media varia da 30° a 25°. La seconda, detta la *zona calda,* abbraccia quei paesi che hanno le temperature medie da 25° a 20°. E così via, a queste tengon dietro la *zona dolce* (da 20° a 15°); la *zona temperata* (da 15° a 10°); la *zona fredda* (da 10° a 5°); la *zona freddissima* (da 5° a 0°); e la *zona glaciale* o *polare* (da 0° a — *t.*). Vi presento qui una tavola, ove sono esposte le temperature medie di varii paesi, situati a diverse latitudini.

Abissinia	31°,0	Parigi	10°,8
Calcutta	28°,5	Londra	10°,4
Giamaica	26°,1	Strasburgo	9°,8
Rio-Janeiro	23°,1	Ginevra	9°,7
Cairo	22°,4	Boston	9°,3
Costantina	17°,2	Stoccolma	5°,6
Napoli	16°,7	Mosca	3°,6
Messico	16°,6	Pietroburgo	3°,5
Marsiglia	14°,1	Monte s. Gottardo	— 1°,0
Costantinopoli	13°,7	Mare di Groenlandia	— 7°,7
Milano	11°,8	Isola Melville	—18°,7

Temperatura media invernale ed estiva. La natura d'un clima non dipende solo dalla temperatura media del luogo, ma ancora dalle temperature estreme dell'anno, e dalla differenza tra la media dell'estate e quella dell'inverno. Si chiamano linee *isochimene* quelle che passano pei luoghi di una stessa media invernale; e s'appellano *isotere* le altre che si possono supporre tracciate per congiungere i paesi aventi eguale media estiva.

777. **Classificazione dei climi.** La cognizione delle temperature medie e delle estreme ha suggerito la classificazione dei climi in *uniformi, variabili* ed *eccessivi*. Quando la differenza delle temperature estreme è piccola, il clima si dice *uniforme*. Se invece quelle due temperature differiscono molto fra loro, il clima si dice *eccessivo*. Tali sono, per esempio, i climi di Pietroburgo e di Pechino, ove le differenze del mese più caldo e del più freddo sono di 30° circa. Il clima chiamasi *variabile* allorchè l'una delle due temperature in discorso non differisce dall'altra per più di 20° circa. D'ordinario i climi delle isole e delle coste sono uniformi; ed i climi eccessivi s'incontrano nell'interno del continente. Di qui ebbe origine la distinzione dei climi in *marini* e *continentali*.

Le irregolarità delle linee isotermiche, isochimene ed isotere mostrano che i climi non dipendono solo dalla latitudine. E di fatto vi hanno notevole influenza l'estensione relativa dei mari e del continente, la direzione e la configurazione delle coste, il rilievo del continente, la direzione delle catene di montagne, i venti dominanti, le correnti del mare, la natura del suolo, la vegetazione che lo ricopre, ecc. La vicinanza delle grandi masse d'acqua, per esempio, aumenta la temperatura media, ed avvicina le estreme; giacchè queste acque, e per conseguenza anche l'aria vicina, d'estate si scaldano meno del continente, e d'inverno meno di esso si raffreddano. Di più, i venti che arrivano dal mare alle coste ed alle isole, essendo umidi, non vi accelerano l'evaporazione; e d'inverno ivi si condensano, e, mentre cedono del loro calorico a quei luoghi, impediscono, più o meno, anche il raggiamento del suolo.

778. **Temperatura dell'atmosfera a diverse altezze.** La temperatura dell'atmosfera nel senso verticale varia molto di più che nel verso della larghezza. Gay-Lussac, nel suo celebre viaggio aereo, essendo partito da Parigi alla temperatura di 30°,7, trovò che, arrivato all'altezza di 6977^m, il suo termometro segnava — 9°,5., Parecchie sono le cause di una tanto notevole differenza di temperatura fra le parti basse e le elevate dell'atmosfera. Le prime, che sempre contengono vapori acquei, assorbono una

buona porzione dei raggi solari che passano per esse; mentre le altre no 'l fanno (649). Quelle d'altronde si scaldano pel contatto del suolo, e per l'assorbimento dei raggi oscuri irradiati dalla superficie della terra. Nè gli strati inferiori, divenendo più leggeri per l'aumento di temperatura, ed elevandosi, possono portare all'alto il calorico ricevuto; giacchè, se vanno in su, riescono sottomessi a pressioni sempre più decrescenti, e per conseguenza si rarefanno, e si raffreddano. Del resto, simili movimenti cessano a grandi distanze dalla superficie terrestre.

Non si conosce bene con qual legge la temperatura dell'atmosfera vadi diminuendo al crescere dell'altezza. Si ammette che l'abbassamento di temperatura sia di 1° per ogni 187^m nella zona torrida, e di 1° per ogni 150^m nella zona temperata. Ma le circostanze locali possono cambiare di molto questo rapporto. Nè bisogna dimenticare che, oltre alla latitudine, hanno influenza l'ora e la stagione. Sembra certo che il freddo aumenti assai coll'altezza fin verso i 4000^m; e poi cresca sempre meno notevolmente, coll'avvicinarsi ai limiti dell'atmosfera.

Qui debbo farvi conoscere un fatto che potrà parervi strano, ed è che la temperatura dell'aria sulle montagne riesce generalmente più bassa di quella degli strati atmosferici situati ad eguale altezza. Perciò, la vicinanza delle alte catene di monti rende i climi molto più freddi. Il motivo di questo curioso fenomeno è che i vertici delle alte montagne irradiano calorico in molte direzioni, e traverso ad una atmosfera poco densa, purissima e per conseguenza di gran potere diatermico. Inoltre, lassù non havvi, come nelle bassi regioni, uno strato d'aria molto caldo che comunica calorico alla terra. Sulle vedette dei monti, ove l'aria è molto rarefatta, anche l'evaporazione avviene con singolare rapidità; ed ecco un'altra causa del fenomeno accennato.

779. **Stato igrometrico dell'aria.** Già sapete che l'atmosfera, specialmente negli strati inferiori, contiene in ogni tempo un'immensa quantità di vapore. La causa di ciò è l'evaporazione delle acque, che coprono per buona parte la superficie del globo terrestre. Come facilmente s'indovina, la distribuzione del vapore nell'atmosfera non è uniforme: ora è più abbondante in un luogo ed ora in un altro. D'ordinario però l'aria è lontana dal punto di saturazione; e chi si rammenta le cose esposte nel num. 594, non ha bisogno ch'io gli dica quanto sia importante questo fatto nella economia animale. Se l'aria non contenesse che una piccola quantità di vapori, gli animali perirebbero per una troppo rapida traspirazione cutanea. Se al contrario essa riescisse molto umida, gli animali dovrebbero ancora soccom-

bere per eccesso di caldo o di freddo. Ma, variando la temperatura dell'atmosfera, ben si capisce che l'umidità di essa non dipende dalla quantità assoluta di vapore che contiene, ma bensì dal rapporto tra quella che possiede e quella che sarebbe necessaria per saturarla. Ad un simile rapporto si è dato il nome di *stato igrometrico* dell'aria. E perchè la densità dei vapori di uno spazio non ancora saturo è proporzionale alla pressione (591), e quindi alla loro forza elastica, si dice anche che lo stato igrometrico dell'aria è il rapporto delle forze elastiche del vapore acqueo ch'essa contiene e di quello che conterrebbe alla stessa temperatura, qualora ne fosse satura. In generale, elevandosi la temperatura, la quantità assoluta del vapore diffuso nell'atmosfera aumenta, ed invece il valore dello stato igrometrico diminuisce. Questa regola vale, generalmente parlando, pei diversi luoghi, per le varie stagioni, ed anche per le diverse ore della giornata. Nei nostri climi l'aria, in media, possiede la metà del vapore che basterebbe a saturarla. Nel periodo di un giorno la quantità assoluta di vapore è minima poco prima della levata del sole, e va poscia crescendo. Lo stato igrometrico in quella vece è massimo all'istante in cui si leva il sole, e dopo diminuisce, sebbene nuovi vapori vengano a concepirsi sotto l'influenza dei raggi solari. Durante l'inverno, la massa del vapore atmosferico aumenta fino al punto in cui il termometro principia ad abbassarsi; e dopo quest'ora, i vapori si condensano, e diventa più grande il valore dello stato igrometrico. Ma nell'estate la somma del vapore sparso nell'atmosfera raggiunge il suo massimo prima del mezzogiorno; e di qui innanzi diminuisce, come lo stato igrometrico. Sembra che ciò dipenda da correnti ascendenti, le quali trasportino all'alto i vapori delle parti più basse. L'ora più calda (circa le 3 pomeridiane al dissopra del continente) è quella anche del minimo igrometrico; e pel resto della giornata, fino al mattino del giorno seguente, l'umidità dell'aria cresce regolarmente. Quanto ai diversi valori che ha lo stato igrometrico dell'aria nelle varie stagioni dell'anno, abbiam già detto (595) ch'esso è massimo nell'inverno, e minimo nell'estate. Ma non bisogna perdere di vista che i venti dominanti possono rompere facilmente questa regola; giacchè alcuni apportano umidità, ed altri invece la disperdono.

780. **Igroscopj — igrometri.** Per sapere lo stato igrometrico dell'aria, furono imaginati parecchi strumenti. Dessi chiamansi *igroscopj*, quando indicano semplicemente l'aumento o la diminuzione dell'umidità dell'aria; e s'appellano *igrometri*, se misurano anche la grandezza del cambiamento avvenuto in più od in

meno. Qualunque sostanza avida del vapore acqueo può essere un igroscopio. Tali sono la potassa, la calce, la soda, l' acido solforico, il cloruro di calcio, di sodio, molte sostanze organiche, ecc. Degli igrometri se ne danno molte specie. Il primo che vi descrivo è l'*igrometro a capello* o *di Saussure*, ed è uno di quelli che i fisici dicono *ad assorbimento*. Esso consiste in un capello *c* (fig. 778), che all'estremità superiore è fisso in una morsa *a*, stretta da una vite di pressione *d*; e per l'altro estremo s'avvolge attorno di una carrucola *o*, a doppia gola. Su questa medesima carrucola è avvolto, in verso opposto al capello, anche un filo di seta, che sorregge un piccolo peso *p*. Quando si mette un tale semplicissimo apparato in una atmosfera, la cui umidità cresca man mano, il capello assorbendo il vapore, da cui trovasi circondato, si allunga, e permette alla carrucola di girare per effetto del peso *p*. Esso, al contrario, si accorcia se l'ambiente si dissecca; ed allora volge la carrucola in verso opposto. Per la buona riuscita della cosa, il capello dev'essere prima lavato in una soluzione di carbonato di soda, onde privarlo delle sostanze grasse. Il movimento della carrucola trascina l'indice *o*, il quale viene così a percorrere un arco graduato, i cui estremi 0° e 100° corrispondono al massimo secco ed allo stato di saturazione, vale a dire a quei punti ove si ferma l'indice, quando lo strumento vien posto successivamente nell'aria di un recipiente disseccata col cloruro di calcio, ed in un vaso saturo di vapori acquei.

Fig. 778.

Nell'uso di questo strumento non bisogna perdere di vista che a poco a poco il capello si allunga, e quindi conviene verificare di tempo in tempo i due estremi dell'arco graduato. Onde poi riesca possibile rimediare al difetto, d'ordinario si fa il quadrante a zero variabile. Un altro inconveniente dell'igrometro a capello è che le sue indicazioni, se pur si eccettuano le estreme, non sono proporzionali allo stato igrometrico dell'ambiente. Gay-Lussac costrusse una tavola degli stati igrometrici dell'aria corrispondenti ai gradi dello strumento, alla temperatura di 10°. Usi adunque di essa chi vuol sapere l'umidità dell'aria, per mezzo di questo igrometro.

Talvolta si dà all'igrometro ad assorbimento la forma di un termometro a mercurio. Il bulbo però non è di vetro, ma vien

formato con una piccola membrana, molto sensibile ai cambiamenti dell'umidità dell'aria. Esso pertanto si allarga, imbevendosi dei vapori acquei, e si restringe quando si dissecca; e così la colonna mercuriale dello strumento si abbassa o si eleva. Basterà pertanto segnare sul tubo i punti corrispondenti al livello del liquido, allorchè il piccolo apparato si trova in un ambiente saturo, e poscia in una atmosfera perfettamente secca; e dividere lo spazio intermedio in cento parti eguali.

Igrometri a condensazione. Parecchi sono gli igrometri di questo genere: mi limiterò a farvi conoscere i due principali, cioè quello di Daniell e l'altro imaginato da Regnault. Eccovi il primo (fig. 779): si compone di un tubo orizzontale, che verso le estremità piegasi al basso in direzione verticale, e termina in due sfere A e B. La sfera A contiene etere solforico per due terzi, e vi sta immerso un piccolo termometro. Nel rimanente dell'apparato non vi sono che vapori di etere, giacchè l'aria venne espulsa, facendo bollire quel liquido, prima di chiudere la sfera B. Per sapere, con siffatto igrometro, l'umidità del luogo ove viene collocato, si avvolge un pannolino intorno alla sfera B, e vi si versa sopra, a piccole riprese, un poco di etere solforico. Questo liquido, evaporando rapidamente, raffredda il bulbo stesso, e fa condensare il vapore che vi è contenuto. Ciò basta perchè altro vapore si concepisca alla superficie dell'etere della palla A (592), ed ivi produca un notevole raffreddamento. Il vapore che tocca la superficie esteriore di quest'ultima sfera si raffredda assieme ed arriva al punto di saturazione. Allora sulla sfera medesima, lungo la linea della superficie del liquido interno, si depone un anello di vapori condensati. La tensione della massa gasosa in questo luogo deve essere eguale a quella di tutto il vapore circostante (592), perchè quanto diminuisce la temperatura di essa altrettanto cresce la densità. Quindi la tensione massima che corrisponde alla temperatura indicata dal termometro interno (609), all'istante in cui principia l'appannamento della sfera A, esprimerà anche la tensione del vapore nel luogo dell'esperienza. Poscia, si cerca in quella medesima tavola (609) la tensione massima del vapore acqueo alla temperatura segnata

Fig. 779.

dal termometro appeso esternamente all'apparato: il numero che si trova esprime la forza elastica che avrebbe il vapore qualora l'ambiente, senza cambiar temperatura, si trovasse al punto di saturazione. Il numero che indica la prima tensione, diviso per l'altro che esprime la seconda, rappresenterà lo stato igrometrico dell'aria nel sito dello strumento.

Ma anche questo igrometro ha qualche grave inconveniente. Il termometro della sfera A indica solo la temperatura dell'etere, la quale, per la poca conducibilità del vetro, può essere alquanto minore di quella che corrisponde al punto di condensazione del vapore. Inoltre, la vicinanza dell'osservatore, e l'acqua stessa contenuta nell'etere, che si versa sulla palla B, modificano la temperatura, o l'umidità dell'aria contigua allo strumento. Per rimediare a ciò, Regnault fabbricò in un altro modo l'igrometro a condensazione. A ciascheduna di due piccole e sottilissime tazze d'argento soprappose un tubo di vetro, in modo da formare due recipienti cilindrici D ed E (fig. 780), I turaccioli di questi vasi sostengono due termometri T e t, che penetrano per buon tratto nell'interno, e per quello del vaso D passa anche un tubo A, aperto ad ambedue le estremità, il quale giunge fino nella tazza d'argento. Questo medesimo recipiente contiene una buona quantità di etere solforico, e comunica all'alto con un aspiratore G, cioè con un vaso pieno d'acqua, che può essere aperto sul fondo. Già s'intende che, effluendo di qui il liquido, l'aria esterna verrà aspirata dal tubo A, e traverso all'etere penetrerà in G. Una simile corrente d'aria promove l'evaporazione dell'etere stesso, ed il freddo prodotto fa depositare sull'argento il vapor d'acqua esterno. Per conoscere poi l'istante preciso in cui l'appannamento comincia, senza avvicinarsi di molto all'apparato, si adopera un piccolo cannocchiale,

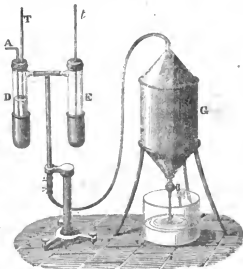



Fig. 780.

posto alla distanza di qualche metro. Mentre si osserva l'indicazione dei due termometri T e *t*, si guardano pure le due superficie d'argento, e nel diverso splendore che mostrano al momento in cui sull'una D comincia a deporsi il vapore, si ha indizio del principio del fenomeno. Così da una parte lo stato dell'aria circostante non viene alterato, e dall'altra la conducibilità dell'argento, ed il continuo rimescolarsi del liquido mettono in equilibrio la temperatura dell'interno e quella della superficie esteriore dell'argento.

Igrometro ad evaporazione. Gli igrometri di questo genere sono fondati sul principio del raffreddamento prodotto dall'evaporazione, e perciò si chiamano anche *psicrometri,* cioè misuratori del freddo. Di essi il più comunemente usato è quello d'August, e si compone di due termometri a mercurio (fig. 781), perfettamente simili e fissati sopra un medesimo telajo. Uno di questi termometri serve ad indicare la temperatura dell'ambiente. Il bulbo dell'altro è coperto da un pannolino, il quale al momento dell'esperienza vien mantenuto sempre bagnato dall'acqua che, per mezzo di alcuni fili di cotone, riceve da un piccolo vasetto unito allo strumento. La differenza fra le temperature segnate dai due termometri mostra il freddo prodotto dall'evaporazione. E di qui, secondo la legge di Dalton (593), si deduce la forza elastica dei vapori diffusi nel luogo ove trovasi il piccolo apparato. Furono perciò calcolate le tavole che fanno conoscere la forza elastica del vapore di cui si tratta, sapendosi l'eccesso del numero di gradi segnati da un termometro su quello dei gradi notati dall'altro. Il P. Cavalleri seppe modificare il psicrometro descritto, in modo che mostra immediatamente l'umidità del luogo dell'esperienza. Egli separò i due termometri con un lastra verticale, ove sono tracciate tante linee orizzontali per ogni grado del termometro bagnato, ed altrettante linee trasversali per ogni grado dell'altro termometro. Pei punti d'intersezione di queste linee passano altre verticali, sulle quali, andando dall'uno all'altro lato, sono scritti i numeri che esprimono i gradi del psicrometro. L'inclinazione delle linee trasversali, calcolata col sussidio delle tavole più sopra accennate, è tale che laddove s'incontrano le linee corrispondenti ai livelli delle due colonne mercuriali, in qualsiasi esperienza, trovasi la verticale segnata dal numero che esprime l'umidità del luogo.

Fig. 781.

ARTICOLO SECONDO

MOVIMENTO DELL'ATMOSFERA.

781. **Vento.** Il vento non è altro che una massa d'aria che si trasporta, lungo la superficie terrestre, da un luogo ad un altro. La causa generale di questo fenomeno è l'ineguale distribuzione del calorico alla superficie della terra. Chicchessia ravvisa a colpo d'occhio che l'aria sovrastante ad un suolo caldo deve innalzarsi, e quella dei luoghi circostanti meno caldi accorrere nel posto della prima. Quivi essa si scalda, e sale allo stesso modo, e così via. Un effetto analogo proviene naturalmente da un raffreddamento parziale dell'aria, o da una condensazione di vapori in qualche parte dell'atmosfera. L'aria circostante alla regione del fenomeno si espande con veemenza verso l'interno di essa, per riempire il vuoto lasciato dall'aria che si è contratta, o dal vapore condensato.

Del vento, come di qualunque moto, bisogna tener conto della direzione e della velocità. Quanto alla prima cosa, tutti sanno che un vento il quale soffii secondo una delle quattro direzioni cardinali, piglia il nome di quel punto medesimo. Quelli che spirano nelle direzioni medie si designano, riunendo i nomi dei punti cardinali che li comprendono; e così si hanno gli altri quattro venti *nord-est, sud-est, sud-ovest* e *nord-ovest.* Alla stessa guisa si indicano gli otto intermedj a questi ed ai primi quattro, ponendo mente di nominare pel primo il vento principale. Di qui nascono i venti *nord-nordest, est-sudest,* ecc. In fine si considerano anche le sedici direzioni intermedie alle precedenti. I meteorologisti distinguono pertanto 32 direzioni di vento: appellano *rombo* l'intervallo compreso fra l'una e l'altra successiva di queste direzioni; ed il loro insieme forma la *rosa dei venti.* Volendo però esprimere con maggiore esattezza la direzione di un vento qualunque, si scrive prima la lettera N, ovvero la lettera S, a seconda ch'esso proviene dall'emisfero nord o dall'emisfero sud; accanto si mette il numero dei gradi di cui la sua direzione si allontana dal meridiano; e da ultimo si nota la lettera *e,* o l'altra *o,* per indicare se il vento devia dal meridiano verso l'est, oppure verso l'ovest. Per esempio, l'espressione N. 15°*o* significa un vento che soffia da un punto alla distanza di 15° dal nord, verso l'ovest.

Per conoscere la direzione del vento si usano gli *anemoscopj.* L'anemoscopio più comune, come tutti sanno, è formato da una

banderuola di latta, mobile attorno un albero verticale. D'ordinario essa viene collocata sul tetto delle case, e per osservarne più comodamente la direzione, si dispone il congegno in modo che la banderuola giri coll'albero, e questi traversi il tetto, ed appoggi al centro di un cerchio graduato posto nella sala di osservazione. Al piede dell'albero è fissato uno stilo, parallelo alla banderuola, il quale perciò ne indica la direzione sul cerchio sottostante. Un simile anemoscopio non è però abbastanza mobile, per obbedire alle deboli agitazioni dell'aria. Se ne imaginarono altri più perfetti, ed applicando loro il meccanismo dei termometrografi (571) si è trovato il modo di avere anche gli anemoscopj grafici: essenzialmente però non differiscono dall'anemoscopio descritto.

La *velocità* del vento è molto variabile. Le denominazioni che si usano per indicare i venti a seconda della loro velocità, sono le seguenti:

Denominazioni	Velocità del vento in un secondo	Denominazioni	Velocità del vento in un secondo
Vento appena sensibile	0m,5	Vento fortissimo . .	20m,0
Vento sensibile . .	1,0	Tempesta	22,5
Vento moderato . .	1,0	Gran tempesta . . .	27,5
Vento abbastanza forte	2,0	Uragano	36,0
Vento forte	10,0	Uragano violento . .	45,0

Anche per misurare la velocità del vento s'inventarono diversi apparati, più o meno perfetti. Debbo tralasciare la descrizione di questi strumenti, ma potete con poco acquistarne l'idea. Imaginate che il vento percuota in direzione perpendicolare una piastra, la quale porti dalla banda opposta un'asta rettilinea; e supponete che questa traversi un tubo fisso, incontrando una molla a spira. Avrete con ciò qualche cosa di somigliante al dinamometro di Leroy (189 — fig. 201). La molla spinge all'infuori l'asta con forza costante: il vento la preme in senso contrario; e perciò dalla lunghezza della parte dell'asta introdotta nel tubo si potrà dedurre l'intensità, e la velocità del vento. Un'altra foggia semplicissima d'anemometro consiste in un tubo ricurvo, a guisa di sifone, nel quale si versa acqua o mercurio. A prima vista si crederebbe un manometro (172) a due rami, ma ad aria libera. La figura 169 potrebbe rappresentare questo

anemometro, qualora anche il tubo rettilineo fosse aperto. È manifesto che, presentando alla corrente aerea l'estremità a sezione verticale, il liquido deve elevarsi nell'altro tubo in proporzione della energia della corrente medesima. Fra gli strumenti usati a misurare l'intensità del vento è di buonissimo effetto anche quello di Wolfmann, che venne poi perfezionato da Combes, da Morin e da Bianchi. L'anemometro di Wolfmann non differisce molto dal molinello, inventato dallo stesso dotto (256 — fig. 275) per misurare l'intensità di una corrente d'acqua. Bellissimo è pure l'anemometro di Robinson, che, perfezionato da Liais, non solo indica, ma scrive ancora la direzione, la durata e l'intensità dei venti che si succedono in un giorno. Anche Taupenot costrusse un anemometrografo che serve al medesimo intento. Stupendo è poi il meteorografo del P. Secchi, apparato che scrive contemporaneamente le indicazioni del termometro, dell'igrometro, del barometro, dell'anemometro, del pluviometro, e degli altri apparati che servono a conoscere l'elettricità della terra e dell'atmosfera.

782. **Classificazione dei venti.** I meteorologisti distinguono i venti in due classi. Alla prima appartengono i venti *regolari;* e la seconda comprende gli *irregolari* od *accidentali.* I primi, che sono i più importanti, si suddistinguono in *costanti* e *periodici.* Si chiamano venti costanti quelli che in determinati paesi soffiano sempre nella medesima direzione. Invece s'appellano periodici i venti che per una certa parte dell'anno spirano in un senso, ed in un altro tempo mostrano la direzione contraria. Sono costanti i venti *alizei* e gli *estratropicali;* e come periodici si conoscono le *brezze* di terra e di mare, ed i *monsoni.*

Gli alizei sono venti che spirano in ambedue gli emisferi dal trentesimo grado di latitudine verso l'equatore: hanno *direzione nord-est nell'emisfero boreale,* e *sud-est nell'emisfero australe.* I venti estratropicali s'incontrano al di là del trentesimo grado di latitudine, andando verso i poli. Nel nostro emisfero soffiano da *sud-ovest,* e nell'altro son venti di *nord-ovest.* I due venti alizei son separati da una zona di calma oscillante sull'equatore. Parimenti sonvi due zone di calma ai tropici, fra il vento alizeo e l'estratropicale.

Le brezze di terra e di mare sono venti che spirano ogni giorno alle coste marittime. Ivi verso le 8 ore del mattino si sveglia un vento che proviene dal mare, e continua fino alle 4 od alle 5 ore pomeridiane. In ciò consiste la *brezza di mare,* il *vento marino,* o *vento della mattina.* Dalle 5 ore della sera fino al tramonto del sole havvi un periodo di calma. Ma dopo,

nasce un vento contrario al primo, che cioè soffia dal continente verso il mare, e dura fino alla levata del sole. È questo il *vento terrestre* o *vento di sera*, o *brezza di terra*. Le due brezze non si manifestano che a piccola distanza dalle coste; nella zona torrida sono più notevoli che altrove, e nelle zone temperate si svegliano solamente nella stagione estiva.

Ci resta a dire dei monsoni. Sono chiamati con questo nome certi venti periodici che spirano per cinque o sei mesi in una direzione determinata, e poi durano per un tempo eguale nella direzione opposta; poi tornano a spirare nel senso primitivo, e così via seguitano a scambiare periodicamente la loro direzione dall'uno all'altro senso. Talvolta un periodo è separato dal periodo successivo per un tempo di calma, più o meno lungo; tal'altra volta invece l'inversione si fa rapidamente. I monsoni dominano principalmente nei mari ristretti od in quelli che formano vasti golfi. In qualche luogo questi venti sono fortissimi, come, per esempio, nell'Oceano Indiano. Altrove sono poco o nulla sensibili, più o meno irregolari, ecc.

785. **Circolazione atmosferica**. Il capitano Maury ha proposta, da poco tempo, una plausibile e molta ingegnosa spiegazione dei venti regolari. Al genio di questo dotto balenò l'idea che intorno alla terra girino due correnti aeree, le quali ora si avvicinino ed ora si allontanino dalla superficie terrestre, incontrandosi fra loro in punti determinati. La cosa venne confermata da molti fatti. Eccovi in breve la bella teorica di Maury. L'aria situata all'equatore della terra si scalda più di quella dei paesi circostanti; perciò s'innalza, e questa accorre ad occupare il posto di essa. L'aria ascesa dall'equatore deve naturalmente riversarsi verso i poli, trattavi dal vuoto, lasciato dall'aria accorsa inferiormente all'equatore stesso. Nascono così anche due correnti superiori, le quali però non si mantengono tali per tutto il tragitto che separa l'equatore dai poli. Ma, venendo esse raffreddate e condensate, verso il 30° calano giù nuovamente al basso, e vanno ai poli lungo la superficie terrestre. Là ciascuna corrente s'incontra coll'altra inferiore opposta, e dal loro urto proviene una specie di turbine ascendente, che le solleva ambedue nelle alte regioni dell'atmosfera. Continuando però il loro cammino, si propagano verso l'equatore, come correnti superiori fino ai tropici, ove si abbassano, e divengono correnti inferiori nelle regioni temperate, ed al principio della zona torrida. Qui salgono di bel nuovo, e passano all'altro emisfero, obbedendo alle medesime leggi, cioè abbassandosi e sollevandosi alternativamente colla stessa regola. Arrivate al punto da cui

sono partite, incominciano ancora e finiscono il medesimo giro, e così via via. La figura 782 può darvi un'imagine di questa circolazione atmosferica. Supponete di accompagnare due molecole d'aria che s'innalzano dal punto A. Queste, arrivate ad una certa altezza, si volgeranno verso i poli, s'abbasseranno in B ed F, correrano al basso lungo i due tratti BP ed FP′; saliranno nei due periodi successivi; in C ed E torneranno al basso, ed arriveranno come correnti inferiori all'equatore D. Di qui innanzi si moveranno

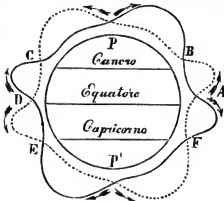



Fig. 782.

allo stesso modo, ma scambiandosi l'emisfero; sicchè, dopo un altro mezzo giro, riesciranno al punto A, d'onde sono partite, per ripigliare ancora il cammino medesimo.

Questa teorica spiega a meraviglia l'origine dei venti alizei e degli altri estratropicali. Basta gettare uno sguardo alla figura 782, per scorgere come di fatto, ammessa la circolazione atmosferica, nelle zone temperate debba soffiare costantemente un vento dai poli verso l'equatore, ed invece nelle regioni situate al di là dei tropici debbano spirare venti diretti in senso opposto, cioè verso i poli. Se a questa notizia si aggiunge l'altra che l'atmosfera rota insieme alla terra, da occidente ad oriente, si ravvisa a colpo d'occhio che i venti delle zone temperate arriveranno all'equatore come venti di nord-est nell'emisfero boreale, e come venti di sud-est nell'emisfero australe; mentre gli altri venti spireranno verso le regioni artiche in direzione di sud-ovest, e verso le antartiche in senso nord-ovest. Di fatto, l'aria che si porta verso l'equatore ha una velocità iniziale minore di quella dei punti della superficie terrestre ai quali arriva; quindi resterà in ritardo verso l'ovest, e sembrerà a noi, che ci moviamo verso l'est, che dessa spiri nella direzione situata tra questa parte ed il nord (nell'emisfero boreale), o meglio nel senso della risultante dei due movimenti che possiede rispetto a noi. La cosa è simile per l'altro emisfero, e perciò ivi l'alizeo deve manifestarsi come vento di sud-est. Al contrario, le correnti estratropicali traversano i paralleli compresi fra i tropici ed i poli, con velocità

maggiore di quella che corrisponde ai punti di questi diversi circoli, e perciò si porta all'est più presto del punto della superficie terrestre ove si trova. Così ogni molecola di una simile massa d'aria riesce sollecitata da due forze, l'una che la spinge all'est, e l'altra che la porta al nord nel nostro emisfero, ed al sud nell'emisfero australe. Per conseguenza, movendosi secondo la risultante di queste due forze si dirige verso nord-est, soffiando come vento di sud-ovest nell'emisfero boreale, e si volge a sud-est nell' altro emisfero, manifestandosi come vento di nord-ovest.

La circolazione atmosferica rende buon conto anche delle zone di calma; giacchè incontrandosi le due correnti nei punti A, B, C, D, E, F, il loro movimento riesce naturalmente eliso. L'esistenza delle calme è così una prova dell'incrocicchio delle correnti scoperto da Maury. E la cosa si palesa ancora meglio, se poniam mente ad un altro fatto, cioè al rialzamento del barometro nelle regioni delle calme: ciò indica che l'aria ivi trovasi accumulata o compressa, come deve essere per conseguenza dell' urto.

Per capire poi come avvenga l'oscillazione delle calme, rammentate che le sette zone dei quattro venti e delle tre calme dipendono principalmente dall'azione del sole. Esse dunque, mantenendo pure i loro rapporti ed il loro parallelismo, debbono oscillare col sole, da sud a nord e da nord a sud.

Alle tre calme conosciute si dovrebbero aggiungere due calme polari; giacchè ivi le correnti ascendono come all'equatore. Simili calme però finora non furono scoperte, ma si hanno tutte le ragioni di supporre che veramente esistano.

Dopo ciò, potrebbe rimanere qualche dubbio circa lo scambio dell'aria di un emisfero con quella dell'altro; giacchè i venti alizei ed estratropicali, ed anche le calme si spiegherebbero, almeno fra certi limiti, anche ammettendo semplicemente che l'aria di ciascun polo vadi all'equatore, e da qui ritorni immediatamente al punto d'onde è partita, senza entrare nell'altro emisfero. Ma, oltre che non si saprebbe concepire come ai poli ed all'equatore la corrente aerea assuma in un tratto una direzione opposta a quella che aveva prima, si conosce anche qualche fatto che conferma luminosamente l'idea di Maury. Analizzando le polveri meteoriche che di quando in quando accompagnano le piogge nell'emisfero boreale, Ehremberg trovò che esse erano composte di infusorj, i quali appartenevano a specie dell'emisfero australe. La distribuzione delle piogge nei due emisferi è parimenti una prova della doppia circolazione atmosferica, ma di

questa parleremo più innanzi. Ignoriamo quale sia la causa di questa doppia circolazione: si suppone che possa essere l'elettricità, ed è probabile; ma finora si sa nulla di certo.

Capito una volta il principio di Maury, non si trova difficoltà a spiegare anche i monsoni, e le brezze di terra e di mare. Le due correnti atmosferiche sarebbero regolarissime, quali le abbiamo supposte fin qui, se la superficie terrestre fosse tutta eguale; ma non essendo così, e riscaldandosi o raffreddandosi diversamente, produce nell' atmosfera disequilibri parziali di temperatura, che variano più o meno la legge del movimento generale. Tali variazioni, come osserva l'illustre Stoppani nel suo bel riassunto della scoperta di Maury, si possono ridurre a tre ordini di fatti. Il primo abbraccia i monsoni, i quali sono parziali deviazioni delle correnti primarie, e si potrebbero paragonare ai canali laterali di un fiume, che vi deviano una certa porzione d'acqua, senza però alterarne il corso generale. Il signor Stoppani piglia ad esempio i monsoni dell'oceano indiano, e qui trascrivo le sue parole. « Quando il sole passa al nord dell'equatore i deserti dell'Asia, e specialmente quello di Cobi, si riscaldano a poco a poco, finchè la loro azione riesce a prevalere, fra certi limiti, all'azione generale. Allora una gran colonna d'aria si eleva turbinosa dal grembo del deserto, un immenso vuoto si forma, ed i venti alizei nord-est, che spirano in quella regione, sono arrestati nella loro corsa verso l'equatore, e travolti in quel vortice. Per ciò, gli alizei sud-est, arrivati alle calme dell'equatore, non trovano più nessun contrasto nei venti nord-est, sentono invece l'azione della colonna ascendente, e volgonsi essi pure impetuosamente a riempire quel vuoto. Così questi venti soffiano sulle coste indiane, divenuti monsoni di sud-ovest, dominanti appunto su quelle coste nei mesi d'estate. Mano mano che si avvicina l'inverno, la causa perturbatrice s'indebolisce, e poi cessa interamente. Ecco allora i monsoni di nord-est, che ivi si manifestano nell'inverno, e sono i venti alizei di nord-est rimessi sulla loro via ».

Al secondo ordine appartengono le brezze di terra e di mare, le quali assomigliano ai piccoli vortici che nascono talvolta in seno alle acque di un fiume, ma non influiscono sul corso generale delle acque. Tutti sanno, ed è facile indovinarne il motivo, che durante il giorno la terra suol essere più calda dell'acqua vicina, e di notte avviene il contrario. Ne consegue che di giorno l'aria soprastante alla terra s'innalza, e quella che sta al dissopra del mare deve scorrere verso il continente; e durante la notte accade il contrario. L'intensità dell'una o dell'altra brezza

dipende dalla differenza di temperatura fra l'acqua e il continente, sia alle diverse epoche dell'anno, sia nelle diverse ore della giornata. Di qui si spiegano anche le calme da cui ordinariamente le due brezze sono separate. Quello poi che diciamo del mare si applica evidentemente anche ai laghi, agli stagni, e a tutti i grandi corpi d'acqua. Secondo l'egregio professore Stoppani « tra le regioni subalpine e l'Adriatico esistono quegli stessi rapporti che vi sono tra le coste di Giava e l'oceano indiano: quindi il vento diurno di sud, o brezza di mare, che noi lombardi chiamiamo *breva*, ed il vento notturno da nord, che diciamo *tivano*, non sono altro che una brezza di mare o di terra. La breva e il tivano cominciano e cessano ad ora diversa, secondo le diverse stagioni: la breva si leva presto d'estate, e tardi d'inverno. Parimenti, i notturni *montivi* non sono che brezze di terra, che nel più caldo estate sboccano da ciascuna valle laterale ai nostri laghi, rimutandosi così l'aria entro piccoli ambienti ».

Finalmente il terzo ordine di variazioni che possono avvenire nel movimento atmosferico, e che lo Stoppani paragona all'effetto che produce in un'acqua corrente un sasso che vi sia lanciato con violenza, comprende i temporali, gli uragani, le tempeste, ecc. Si capisce che lo squilibrio della elettricità dell'atmosfera o delle nubi, la condensazione di una notevole quantità di vapore in pioggia, ecc. debbono rompere in qualche sito il corso ordinario delle correnti atmosferiche, e produrre così i venti irregolari od accidentali.

ARTICOLO TERZO

METEORE ACQUEE, ELETTRICHE E LUMINOSE.

784. **Rugiada — e brina**. Durante la notte, i corpi posti alla superficie della terra si raffreddano per irradiazione, più o meno notevolmente, a seconda del loro poter raggiante (644). Nello stesso tempo, l'aria nelle parti prossime al suolo si raffredda, al punto da riescire vicinissima alla saturazione. Per conseguenza, se quest'aria viene ad incontrarsi, e rimane per un po' di tempo a contatto di corpi che siano alquanto più freddi di essa, è obbligata a deporvi del proprio vapore condensato. Questi corpi si coprono così d'una moltitudine di goccioline di acqua, le quali talvolta sono tante, e sì vicine, che vi formano un velo continuo. Ecco la *rugiada*. Di qui si spiegano facilmente

le circostanze che accompagnano il fenomeno. Le erbe, i fiori, le piante, ecc. si coprono di rugiada meglio di molti altri corpi, perchè hanno maggior potere emissivo o raggiante. La rugiada non si forma quando il cielo è coperto di nubi, perchè il calorico irradiato dai corpi situati alla superficie terrestre, viene loro riflesso dalle nubi medesime. Il fenomeno non ha luogo neppure allora che spira il vento, giacchè l'aria non rimane a contatto dei corpi un tempo sufficiente, onde partecipare al loro raffreddamento, ossia per mettersi con essi in equilibrio di temperatura. E nemmanco può riescire se l'aria è molto secca, di maniera che anche raffreddata si trovi lontanissima dal punto di saturazione. Che se i corpi della terra, dopo la deposizione del vapore, si trovano ad una temperatura per poco inferiore a 0°, il velo liquido si converte in una crosta di ghiaccio: si ha la *brina*. Della rugiada abbiamo esempio nell'appannarsi che fanno esternamente le bottiglie piene d'acqua fresca, specialmente d'estate; della brina nei fiori di ghiaccio che, nel cuor dell'inverno, si formano sui vetri delle finestre d'una stanza calda, ove siano parecchie persone.

785. **Nebbie — nubi**. L'aria ordinariamente contiene una buona quantità di vapori acquei, ma non ne è satura, sicchè l'occhio non se ne accorge. Quando però essa viene a contenere una porzione di vapori maggiore di quella che si richiede per saturarla, si forma una moltitudine innumerevole di piccolissime goccè d'acqua, le quali rimangono sospese e notanti nell'atmosfera, e ne offuscano la trasparenza. Nel primo caso suol dirsi che l'aria contiene vapore *invisibile*, e nell'altro si dice che il vapore dell'aria è *visibile*. Gli ammassi di quest'ultimo vapore, che si concepiscono, e si fermano nelle parti più basse dell'atmosfera, si appellano *nebbie;* quelli invece che occupano luoghi più o meno lontani dalla superficie terrestre costituiscono le *nubi*. I meteorologisti d'ordinario distinguono le nubi in quattro classi, e le dicono *cirri, strati, cumuli* e *nembi*. I cirri hanno l'aspetto di pennacchi, ordinati per lo più a zone parallele. Gli strati sono quelle nubi di colore chiaro ed uniforme, disposte a fascie orizzontali, molto larghe, e non interrotte. Tali sono generalmente le nubi d'autunno. Si chiamano cumuli i grandi ammassi di nubi che si scorgono specialmente al tramonto del sole, ed appariscono come grossi palloni intrecciati gli uni cogli altri. Di questo genere sono spesso le nubi durante l'estate. I nembi poi hanno colore carico, ed annunciano prossima la pioggia. L'altezza delle nubi può variare da 1 ad 8 chilometri: le più alte sono i cirri.

Potrà ora nascervi il desiderio di sapere come rimangono so-

spese le nubi, se sono formate da tante piccole gocce d'acqua. Saussure, Pouillet e molti altri dotti credettero che queste minutissime masse d'acqua siano cave ed assomiglino a piccoli palloni aerostatici, che rimangono sospesi pel noto principio d'Archimede (134). Esprimono ciò dicendo che il vapore visibile si trova *allo stato vescicolare*. Ma non si sa concepire come le molecole del vapore invisibile, nell'accozzarsi tra loro per formar acqua, abbiano ad accomodarsi in modo da costituire un palloncino. Nè si arriva ad imaginare il fluido espansibile leggerissimo che riempia questi globi singolari, onde resistano alla pressione atmosferica, e riescano più leggeri dell'aria circostante. Del resto, la sospensione delle nubi si può spiegare in altri modi. Ammettiamo dunque che i globetti del vapore siano massicci, e per capire come essi possano mantenersi in alto sospesi, badiamo alla loro minutezza. Piccolissimi, quali sono, hanno una notevole superficie in proporzione al loro peso, e perciò incontrano nell'aria grande resistenza a cadere. Nessuna legge fisica ci proibisce di supporre che questa resistenza abbia ad eguagliare l'azione della gravità. Eppure questa non è la sola circostanza che possa renderci conto di quell'effetto. La capillarità può concorrere a trattenere le goccioline d'acqua. Queste peraltro potrebbero di fatto cadere, ma con tanta lentezza da non manifestarsi in tale stato di movimento a chi le osserva dalla terra. Non avviene forse così dei corpi leggerissimi, che restano lunghe ore sospesi entro i fluidi, come la polvere nell'aria, molti solidi estremamente divisi nell'acqua, ecc.? Di più, non potrebbe avvenire che l'aria interposta fra i globetti liquidi s'avesse a dilatare, sicchè la nube nel suo complesso divenisse più leggera dell'aria circostante, e salisse nel tempo medesimo che le goccioline discendono nel seno di essa? Ovvero, qual difficoltà vi sarebbe a supporre che le piccole gocce d'acqua, cadendo lentissimamente, vengano a contatto di strati d'aria più calda, e si convertano di bel nuovo in vapore, per salire un'altra volta, ed ivi condensarsi ancora? Le nubi si conserverebbero così nel loro complesso, per una specie di equilibrio mobile, cambiando cioè di continuo nelle loro parti. Parmi che tutto questo basti a dare piena ragione del fenomeno; nè convenga ammettere, come molti imaginarono, che vi siano correnti d'aria ascendenti le quali portino all'alto, e tengano lassù le nubi. Ciò potrà avvenire in qualche caso; ma non può essere la causa costante dell'innalzamento o della sospensione delle nubi, perchè è ben difficile che sempre esistano simili correnti, al comparire in cielo di una nube.

786. **Pioggia**. Quando la temperatura di una nube viene, per un accidente qualsiasi, ad abbassarsi, le piccole gocce di acqua ingrossano al punto che la resistenza dell' aria non vale più a mantenerle sospese, ed allora cadono sulla superficie della terra, ed abbiamo la pioggia. Può avvenire talvolta che le gocce di pioggia, incontrando nella loro discesa un'aria calda e secca, svaporino, e tornino di bel nuovo allo stato di vapore visibile od invisibile. Ma si dà più spesso il caso contrario che queste gocce, cadendo, incontrino un'aria molto umida, ingrossino, ed arrivino alla terra con notevole velocità. Questa però sarà in ogni caso minore di quella che le gocce d'acqua dovrebbero acquistare sotto l'impulso della gravità, la quale è una forza acceleratrice costante. A prima giunta ciò potrà recare meraviglia; ma basti riflettere che l'aria, essendo un corpo eminentemente elastico reagisce per quanto è premuto. Se la goccia aumenta progressivamente di velocità, deve nello stêsso tempo spostare una massa più grande d'aria, e deve farlo con rapidità maggiore; così va crescendo press'a poco nel medesimo rapporto anche la resistenza che trova nell'aria. Per conseguenza, da un certo punto in poi, la goccia deve consumare tutta la velocità che riceve dalla gravità, onde vincere la resistenza dell' aria, e da quell'ora il suo movimento riesce costante.

Per sapere la quantità di pioggia che cade annualmente in un luogo, si adopera il *pluviometro*. Desso consiste in un vaso cilindrico *b* (fig. 783), il coperchio del quale ha la forma di un imbuto, o di un cono posto a rovescio, e forato al vertice. Dal fondo di questo vaso parte un tubo *c* di metallo, che finisce ad elevarsi verticalmente all'esterno del vaso medesimo. Il tubo *c* ne porta un secondo *d*, di vetro, e graduato. È naturale che collocando l' apparecchio in un luogo scoperto, l'acqua che cade in *a* verrà a raccogliersi in *b*, e si eleverà alla stessa altezza nel tubo *d*, senza potere diffondersi in seguito per evaporazione, giacchè non è esposta all'aria libera che per una piccolissima superficie. Per conseguenza, sapendosi la grandezza della base superiore del vaso, basterà osservare l'altezza del liquido nel braccio *d*, alla fine di un mese o di un anno, per sapere la quantità d'acqua ivi caduta nel tempo stesso sopra un' area determinata.

Fig. 783.

Distribuzione delle piogge alla superficie del globo. La quantità di pioggia che cade annualmente alla superficie della terra

basterebbe a formare intorno ad essa uno strato uniforme di acqua alto 1m,52. Ogni anno dunque si alza dalla terra in forma di vapore, e poscia vi ritorna come pioggia una massa d'acqua che sarebbe rappresentata da un lago lungo 24,000 miglia, largo 3,000, e profondo 4m,87. Non si creda però che questa immensa quantità di pioggia si distribuisca uniformemente sui punti della superficie terrestre. Innanzi tutto è da sapersi che, mentre le acque nell'emisfero australe occupano una estensione molto maggiore che nell'emisfero boreale, le piogge sono più abbondanti in questo che non in quello. Inoltre, le medie annuali delle piogge sono differentissime da un paese ad un altro. In alcuni siti le piogge sono copiosissime, ed in altri molto rare. Nella Patagonia, solo dall'aprile all'ottobre, si calcolò 15m,37 di pioggia; e nel Perù invece non piove mai. Molte regioni offrono un'altra particolarità, ed è che ivi si alterna regolarmente un periodo di pioggia, ed un periodo di continuo sereno.

Di tutte queste variazioni finora non si sapeva darne una spiegazione soddisfacente. Ma capito una volta il principio di Maury, appariscono tutte conseguenze naturalissime. L'evaporazione nell'emisfero australe è più abbondante che nell'emisfero boreale; quindi la corrente che va da quello a questo emisfero dev'essere più vaporifera dell'altra, che passa dall'emisfero boreale all'australe. Per conseguenza, quella prima corrente, raffreddandosi, deporrà una maggiore quantità di acqua. Ecco perchè sono più copiose le piogge nel nostro emisfero. Ed è degno di osservazione che le quantità di pioggia nei due emisferi stanno prossimamente in ragione inversa delle superficie d'acqua loro corrispondenti. Per simile causa, in ognuno dei due emisferi le correnti superiori che si dirigono dall'equatore verso il polo debbono essere più vaporifere delle inferiori opposte, perchè molto più calde. Perciò, quei venti, dalle zone delle calme, ove si raffreddano per l'incontro delle altre correnti, fin presso il polo, ove continuano a raffreddarsi, passando sulla superficie terrestre, apportano pioggia. Al contrario le correnti che si propagano dal polo all'equatore, si fanno sempre più secche, e sono venti di sereno. Di qui si capisce che dunque i paesi corrispondenti alle calme atmosferiche saranno regioni di pioggia. Tali saranno anche quelli situati al di là delle calme stesse, verso il polo; ma in proporzione minore, perchè le correnti hanno già deposto buona quantità del loro vapore nelle calme. Negli altri siti, in generale, le piogge saranno molto più scarse, o vi mancheranno affatto. Ciò poi dipenderà dalle circostanze locali; giacchè, come da queste viene spesso variata la legge generale del movimento atmosfe-

rico, è anche modificata la distribuzione delle piogge. Chi non s'accorge infatti che, se il vento passa al dissopra di una vasta superficie d'acqua, può caricarsi di una buona quantità di vapore, ed arrecare la pioggia ai paesi che traversa in seguito, mentre prima era vento di sereno? S'indovina pure che i vapori trasportati da una corrente atmosferica si dovranno condensare nel percuotere le fredde vedette di certe montagne, e daranno pioggia al versante che incontrano. Ma appunto per questo il vento stesso, avendo ivi perduta una notevole porzione de' suoi vapori, produrrà ben diverso effetto sul versante opposto. Da questi principj scaturisce naturalissima la spiegazione della costante siccità del Perù. I venti alizei sud-est, che dominano in quelle regioni, venendo dall'Atlantico, incontrano, come dice lo Stoppani, la gigantesca mole delle Cordilliere, coperte di eterne nevi: d'improvviso si raffreddano, e, mentre i vapori condensati precipitano, ad alimentare il Rio delle Amazzoni, sul versante orientale della catena, passano, sotto forma di venti costantemente asciutti, al versante opposto. La Lombardia, così dice ancora lo stesso celebre geologo, è conosciuta fra le regioni più piovose del globo. I venti meridionali che, venendo dal mare sono i più ricchi di vapori, si raffreddano all'incontro colle Alpi, e passano sull'opposto versante come venti asciutti. Per la stessa ragione, i venti che spirano da nord apportano pioggia alla Svizzera, e recano il sereno alle nostre contrade. Finalmente, l'alternarsi dei periodi di pioggia e di continuo bel tempo in alcuni luoghi dipende dall'essere questi siti entro i limiti d'oscillazione delle calme e dei venti, limiti che si estendono per un migliajo di miglia.

787. **Variazioni della pressione atmosferica.** Ora siamo in grado di conoscere la causa delle oscillazioni quotidiane del barometro, ed il principio dell'uso meteorologico (168) di questo prezioso strumento. La variazione diurna del barometro, come osserva il P. Secchi, è uno dei fenomeni più facili a constatare, ma dei più complicati per la teoria. Le leggi di questo fenomeno sono le seguenti: 1.° L'atmosfera ha giornalmente una oscillazione, composta di due massimi e di due minimi; cioè ogni periodo medio si compie in 12 ore. 2.° Il massimo mattutino accade verso le 9 ore, ed il primo minimo fra le 3 e le 4 pomeridiane. L'ora del secondo massimo è alle 9 di sera circa; e il minimo notturno avviene dopo mezzanotte, tra l'1 e le 3 ore. 3.° La durata e la grandezza delle escursioni in ciascun periodo variano colla stagione: sono press'a poco eguali nell'inverno, autunno e primavera; ma nell'estate il diurno

è più ampio; ed il notturno in quella vece è molto ristretto. 4.° L'ampiezza della oscillazione barometrica varia colla latitudine: è massima all'equatore e minima ai poli. A pari latitudine diminuisce coll'aumentare dell'altezza. 5.° Una simile variazione si manifesta anche nei giorni a cielo coperto di nubi, e nei burrascosi, quando il barometro s'eleva o si abbassa progressivamente. — Volendo adesso passare dai fatti alla ragione dei fatti, bisogna aver bene in mente che la colonna atmosferica gravitante sopra un punto qualunque si può considerare come composta di due atmosfere: l'una d'aria secca, e l'altra di vapore acqueo. La pressione di queste due atmosfere varia in modo diverso, al cambiarsi della temperatura, nel periodo delle 24 ore. L'altezza del barometro indica la somma delle pressioni d'ambedue le masse gasose, e muta per ciò, crescendo o diminuendo l'una o l'altra di esse. Si può dire, in generale, che il periodo diurno dipende dall'azione del sole, ed il notturno dalla condensazione dei vapori acquei contenuti nell'atmosfera. E qui si rammenti che l'elasticità dei gas e dei vapori (i quali non siano allo stato di saturazione) cresce colla temperatura; nè si dimentichi che, ad eguale elasticità, l'aria dilatata preme sul barometrò meno dell'aria fredda. Quando il suolo principia a scaldarsi, la forza elastica degli strati atmosferici che gli stanno di sopra cresce, e produce sul barometro un aumento di pressione, finchè l'aria ha ivi acquistato abbastanza di forza per sollevare gli strati non ancora scaldati. A questo istante ha luogo il massimo del mattino. Poscia, la pressione diminuisce, e tanto più rapidamente quanto più energica riesce la corrente ascendente. Il minimo pomeridiano avviene dopo l'ora più calda della giornata, allorchè si arresta quella corrente medesima. Di qui innanzi, abbassandosi la temperatura, il vapor d'acqua si condensa, ossia perde di tensione, succede così il periodo notturno.

Alla stessa guisa si possono spiegare le regole date per indovinare le variazioni di tempo, osservando il movimento del barometro (168). Dal sin qui detto appare che, succedendo un vento caldo ad uno freddo, la pressione atmosferica deve diminuire; ed al contrario essa aumenta al soffiare dei venti freddi e secchi. In Europa pertanto, il barometro si abbasserà pei venti di sud e di sud-ovest, apportatori di pioggia; ed in quella vece si alzerà dinanzi ai venti di nord e di nord-est. Del resto, simili relazioni fra le altezze barometriche e lo stato del tempo dipendono dalla posizione geografica dell'Europa; giacchè altrove i venti caldi di terra, che annunciano bel tempo, fanno abbassare il barometro, ed i venti apportatori di pioggia lo fanno alzare.

788. **Scambio di calorico fra le varie parti del globo per effetto delle piogge.** La circolazione atmosferica e la distribuzione delle piogge, che ne è una conseguenza, hanno una singolare importanza specialmente nello scambio del calorico fra le diverse parti dell'atmosfera. Se la temperatura dei varii paesi dipendesse semplicemente dalla posizione relativa del sole e della terra, riescirebbe ora eccessivamente elevata ed ora troppo bassa, e nessun essere organico vi potrebbe resistere. Ma pel buon effetto della circolazione atmosferica e dei vapori involati ad una parte della terra e deposti in un'altra, la cosa è ben diversa. Maury paragona l'atmosfera ad una macchina a vapore, la quale ha per focolare il sole, per caldaja le regioni equatoriali, per condensatore le regioni polari, e produce il mirabile lavoro di mantenere in circolazione le acque di tutti i fiumi che solcano il globo, e di servire allo sviluppo dei due grandi regni (animale e vegetale) della natura. L'acqua pertanto, evaporando nei paesi equatoriali, sottrae loro una notevolissima quantità di calorico, che dona poi alle regioni polari, quando ivi si condensa. Si calcola che il calorico, trasportato così in ogni anno dall'equatore ai poli, basterebbe almeno a fondere sei milioni di miglia cubiche di ferro, cioè molte volte più che la massa delle Alpi, se fossero tutte di quel metallo. Ed il bello si è che tale immensa quantità di calorico riesce insensibile ai paesi pei quali passa.

789. **Neve.** Se la temperatura dell'aria ove si condensa il vapore è al dissotto dello zero, l'acqua che ne nasce si consolida, e si ha la *neve.* Quando il tempo sia tranquillo, la neve assume una forma di cristallizzazione regolarissima. Vi presento qui alcuni di questi tipi

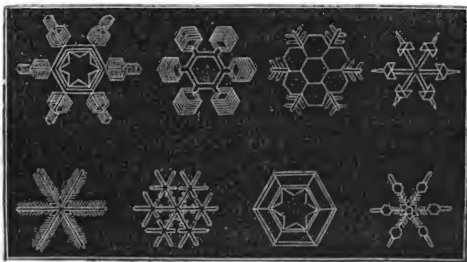



Fig. 784.

mirabili (fig. 784), ma non pensate che siano i soli: se ne con-

tarono fino a 100. È però degno di osservazione che i fiocchi di neve cristallizzati regolarmente sono tutti di forma eguale in una medesima nevicata, e non presentano tipi diversi se non da una nevicata all'altra. S'ignora ancora quali siano le circostanze che determinano nella neve il modo di cristallizzazione. La quantità di neve che cade in un luogo varia moltissimo dall'uno all'altro anno. Molto più ancora variano le quantità di neve che in un anno cadono nei diversi paesi; che anzi in moltissimi luoghi questa meteora è affatto sconosciuta, ed altri invece sono perpetuamente coperti di neve. Ma il fenomeno è molto più frequente che taluno non possa credere; giacchè accade spesso che nelle alte regioni dell'aria cominci a nevicare, e che questa neve si muti poscia in pioggia nel traversare un'aria men fredda che è sotto. Per la stessa ragione, moltissime volte nel tempo stesso che nevica al monte piove alla pianura.

790. **Grandine.** I granelli della grandine ordinariamente sono formati da un fiocco di neve, rivestito da parecchi strati concentrici di ghiaccio. Il loro diametro varia da qualche millimetro a dieci centimetri e più. Quando hanno press'a poco il volume di una noce, si dicono straordinariamente grandi, ma talvolta arrivano anche alla grossezza di un pugno, ed al peso di un mezzo chilogrammo. Si citano esempj di grandine i cui grani pesavano due chilogrammi. La grandine è costantemente accompagnata da tuoni e lampi, e per conseguenza è meteora, alla cui produzione concorre senza dubbio l'elettricità. Per ciò, onde capire come essa si formi, conviene sapere che le nuvole in generale sono elettrizzate, qual più, qual meno, moltissime positivamente, ed alcune negativamente. L'atmosfera stessa, a cielo sereno, è carica di elettricità positiva: la sua tensione cresce coll'altezza, varia periodicamente durante l'anno, ed anche nelle 24 ore del giorno. Essa è più forte nel verno che nell'estate. L'elettricità va pure soggetta a variazioni irregolari: quando il cielo si annuvola spesso diviene negativa, ecc. La causa principale dell'elettricità dell'atmosfera e delle nubi è l'evaporazione continua alla superficie della terra. Vi possono però influire la vegetazione, e le altre operazioni chimiche che avvengono sulla terra medesima. Anche lo sfregamento di due masse d'aria, inegualmente calde, deve pure produrre una notevole quantità di elettrico.

Ciò posto, per risolvere la questione circa l'origine della grandine, bisogna spiegare 1.° come si produca il freddo necessario alla formazione del nucleo niveo; e 2.° in qual modo questo nucleo stesso si rivesta degli strati di ghiaccio. Il Volta imaginò

che la causa di quel raffreddamento fosse l'evaporazione rapida ed abbondante, che deve aver luogo alla superficie superiore della nube temporalesca. Le circostanze che favoriscono una simile evaporazione, secondo il Volta, sono: l'azione dei raggi solari, la rarezza e la siccità dell'atmosfera soprastante alla nube, e la grande attitudine a vaporizzare del polviglio acqueo *elettrizzato,* che costituisce la nube stessa. A queste tre circostanze spesse volte si potrà aggiungere anche l'azione del vento, sia poi questo regolare od accidentale. Parmi che ciò si debba dedurre dal fatto che molti temporali, apportatori di grandine, hanno qualche carattere di periodicità, e si propagano secondo una direzione determinata. I contadini dell'alta Lombardia dicono che la grandine viene quasi sempre prossimamente da nord-ovest. Il vento, se freddo, potrà peraltro concorrere ad abbassare direttamente la temperatura della nube. Ciò però non vorrà dire che il vento sia la causa principale ed ordinaria del raffreddamento di cui si tratta. A produrre questo poi, oltre all'evaporazione, deve concorrere anche l'espansione dell'aria nell'interno della nube, effetto naturale dell'elettricità di cui è carica.

Quanto alla seconda parte della questione, il Volta suppone che i fiocchi di neve, formatisi nei primi istanti del fenomeno, vengano a trovarsi fra due nubi elettrizzate diversamente, e siano successivamente lanciati dall'una all'altra, posta sotto, o sopra. Così questi fiocchi di neve andando in su ed in giù entro un'atmosfera fredda, e molto umida, si coprirebbero di parecchi strati di ghiaccio. Ma, sembra difficile che s'abbiano in ogni caso a formare due simili nubi, aggiustate a questo modo. Talvolta potrà avvenire così: però non è da credere che questa sia condizione necessaria del fenomeno. Si ammette dunque che i fiocchi di neve vengano d'ordinario agitati in qualunque direzione orizzontale, anche in mezzo ad una nube sola. Molte possono essere le cause di questo movimento. Una è, come pensava il Volta, la diversa elettricità delle masse d'aria che compongono le nubi. Un'altra può essere la diversità di tensione elettrica nelle parti di una stessa nube, sicchè, scorrendo l'elettrico dall'uno all'altro punto, trasporti seco i fiocchi di neve, od induca un movimento analogo nella massa d'aria, ove essi si trovano. Anche le variazioni di temperatura o di umidità, quando abbiano luogo entro la nube, debbono produrre un effetto analogo. Se poi la nube nascesse per l'incontro di due venti, è naturale che verranno a determinarsi dei movimenti vorticosi in mezzo ad essa, sia per l'urto medesimo, sia pure per l'efflusso dell'elettricità che si concepisce allora. Finalmente, quando la grossezza

dei grani sia cresciuta di molto, ovvero riesca indebolita l'elettricità delle nubi, o quella qualunque altra causa che li muove e li tien sospesi, sicchè prevalga il loro peso, quei grani cadono precipitosamente sulla terra. Se essi vengono abbandonati nel principio della loro formazione, costituiscono quella minuta gragnola che diciamo *nevischio,* od anche si convertono in pioggia, nel passaggio dell'aria calda più bassa.

791. **Circostanze principali che accompagnano un temporale**. La pioggia spesse volte, e la grandine sempre, sono il prodotto di un temporale, ossia di nubi oscure, gonfie, talvolta agitate, e costantemente accompagnate dal *baleno* e dal *tuono*. Il baleno non è altra cosa che una lunga e grossa scintilla, o meglio il complesso delle molte scintille prodotte dallo scaricarsi dell'elettricità dall'una all'altra nube, o tra le nubi e la terra. Il tuono è lo scoppio che corrisponde alla scarica medesima. Il passaggio rapidissimo dell'elettrico traverso all'aria produce in questa una condensazione, a cui tien dietro una rarefazione; e ne risulta così una forte agitazione nell'aria stessa, un rumore. A prima giunta potrà opporsi a questa teoria la piccola massa dell'elettrico. Ma ogni difficoltà scompare, quando si riflette che prodigiosa è la velocità dell'elettrico, e la condensazione di un fluido è proporzionale al quadrato della velocità colla quale viene spostato.

Il baleno ed il tuono si producono contemporaneamente; ma fra il comparire del baleno e lo scoppiare del tuono havvi sempre un intervallo di tempo più o meno lungo, perchè la luce ed il suono si propagano con velocità molto diversa. Per conseguenza, ammettendo che la propagazione della luce sia istantanea, come si può supporre trattandosi sempre di distanze relativamente piccolissime, se si moltiplica per 340 il numero dei secondi che scorrono fra il comparire del baleno e lo scoppiar del tuono, si otterrà in metri la distanza del temporale. Il tuono riesce prolungato, se la scarica elettrica avviene a seconda di una linea molto lunga, i cui punti sono diversamente lontani da noi.

Quando l'elettricità si scarica tra le nubi e la terra, si dice che cade il *fulmine* o la *folgore*. Gli effetti del fulmine sono similissimi a quelli della scintilla, col solo divario dal piccolo al grande.

792. **Parafulmini**. Onde proteggere dal fulmine i luoghi abitati, Franklin imaginò di trarre profitto dalla proprietà che hanno le punte (681) d'impedire la scarica esplosiva, ossia inventò il *parafulmine*. Tutti sanno che un parafulmine è un'asta di ferro, piantata solidamente sulla sommità di un edi-

ficio, e terminata in una punta di platino. Da una simile asta scende a terra un cordone di metallo, che penetra nel suolo per la profondità di quattro o sei metri. Un buon parafulmine impedisce che l'elettricità del suolo, attratta da quella delle nubi, si accumuli sugli edificj, in cima dei quali è collocato. Inoltre, indebolisce probabilmente l'elettricità delle nubi stesse; e così, nell'uno e nell'altro modo, rende difficile che cada la folgore sulla casa. Ma qualora, per l'abbondanza dell'elettricità, esso non riesca ad impedire la caduta del fulmine, viene colpito pel primo, essendo più alto degli altri corpi, puntuto e buon conduttore; e perciò, trovandosi nel tempo stesso in comunicazione col suolo, l'elettricità si diffonde in questo, senza produrre alcun guasto nella casa. Onde l'elettrico possa effluire facilmente dal conduttore nella terra, si suole terminare quello con una specie di pettine a parecchie punte, e nella cavità sotterranea, ove pesca, si mette polvere di carbonella, che è buona conduttrice. Si stima che un parafulmine protegga tutti gli oggetti in giro fino a distanza doppia della propria altezza.

793. **Trombe.** Una *tromba* consiste in un ammasso di vapori, sospeso nell'aria, e simile ad una bassa nube di forma conica, che volga in giù il vertice fino a toccare la terra. Le trombe si trasportano per linee irregolari, rotando spesse volte sopra sè stesse, e producendo un rumore che assomiglia a quello di una massa di sassi agitata rapidamente. Nel loro cammino sradicano alberi robustissimi, involano i tetti delle case, o ne abbattono anche i muri. Ai 13 maggio del 1846 una tromba devastò il Parco di Monza, nelle vicinanze della porta di s. Giorgio; e nel 30 giugno 1865 una tromba, formatasi tra Milano e Brugherio, passò al dissopra di questo paese, producendovi immensi guasti. Essa investì in seguito Concorezzo, traversò il comune di Oreno, e scomparve nelle vicinanze di Velate. Vennero atterrati parecchi muri, involati i tetti di molte case, alzati e portati a notevole distanza grandi vasi di limoni, travi, usci, pezzi di ferro, pietre, ecc. Moltissime piante furono spezzate, contorte, altre vennero abbattute senza rottura, e fra queste cravi un magnifico cedro del Libano del diametro di 90 centimetri.

Spesse volte le trombe si concepiscono al dissopra del mare, e quivi generalmente accade che l'acqua s'innalzi sotto di esse, formando un cono colla punta verso l'alto, che non di rado si congiunge coll'altro superiore (fig. 785). Di qui ebbe origine la classificazione delle trombe in *terrestri* e *marine*.

Una tromba è certamente fenomeno elettrico. Imaginiamo una

nube molto densa e carica notevolmente di elettricità. Essa verrà attratta dal suolo elettrizzato per influenza, ed a poco a poco si abbasserà. Se, come abbiam supposto, è assai densa, certe

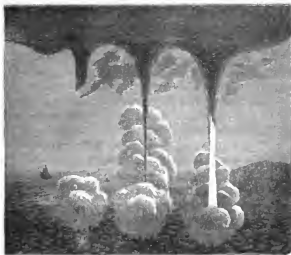



Fig. 785.

parti di essa potranno obbedire all'attrazione che proviene dal basso, senza separarsi dalle altre; ed allora formeranno sul piano della base una protuberanza volta all'ingiù, che tosto s'allungherà in un cono, venendo ivi ad accumularsi l'elettrico, sia per la forma di questa parte, come anche per la sua minore distanza dalla terra. A questo modo, il vertice del cono potrà arrivare fino al suolo, e scaricarsi traverso alle sue parti ed ai corpi più o meno conduttori che incontra. Di qui il lampeggiare, il rumore, le attrazioni degli oggetti, la carbonizzazione del legno, le traforazioni, ecc. Il moto rotatorio della tromba può dipendere da ciò che il torrente elettrico dalla nube affluisca eccentricamente nel cono, oppure può essere l'effetto dell'azione elettro-dinamica delle correnti nella nube su quelle del cono. Bisogna però confessare che anche l'incontro di due venti potrebbe produrre lo stesso fenomeno. Il movimento rotatorio della tromba nella sua direzione generale, è conseguenza del moto che ha la nube, o pel vento, o fors'anche per un'azione elettrica delle altre nubi; e le sue deviazioni parziali provengono da ciò che essa lungo il viaggio, fra certi limiti di distanza, si volge di prefe-

renza ai più buoni conduttori, ove è più abbondante l'accumulazione dell'elettrico. Per spiegare i guasti che una tromba produce nelle piante, il P. Cavalleri opina che l'immensa quantità di elettrico, assorbita dalle foglie e dalle estremità degli alberi, dovendo passare tutta istantaneamente a restringersi nella grossezza del tronco, divida l'albero a schegge, lo spezzi a metà, oppure lo atterri, a seconda ch' esso è più o meno grosso, vestito di rami appena per una parte o in tutta la sua lunghezza, o di una specie piuttosto che di un' altra. Quando la tromba nasce nell' incontro di due venti, gli effetti sono più strepitosi, specialmente perchè la produzione dell' elettricità è continua.

794. **Aurora boreale**. L'aurora boreale o polare è una meteora luminosa che apparisce frequentemente presso i poli terrestri. Ecco come viene descritto questo stupendo fenomeno. « L'aspetto della meteora può assomigliarsi a quello di un immenso fuoco d'artifizio. Da prima si va formando un grande arco di luce gialliccia, che volge la sua concavità verso la terra; poi nascono molte strisce nerastre, che lo dividono in modo regolare; e finalmente, cominciano ad uscirne certe lingue di luce, alcune delle quali si allungano adagio adagio, altre con impeto, come la striscia di fuoco, che lasciano dietro di sè i razzi; spesso anche si accorciano, e si allungano alternamente, con subitanee diminuzioni e subitanei rinforzi di splendore. Ed in mezzo a questa varietà è notabilissimo che tutte si dirigono ad un medesimo punto del cielo, convergendovi manifestissimamente; anzi talora accade che vi arrivino, e vi si uniscano tra loro, formando una specie di gabbia luminosa, traverso ai fili della quale apparisce l'oscura volta del cielo. Intanto il grand'arco, d'onde si sono spiccate le lingue di luce, va innalzandosi come per recarsi proprio allo zenit dell'osservatore, e talora anche si stacca con una o con entrambe le sue estremità dall'orizzonte, e va ondeggiando e ricurvandosi, in modo da sembrare finalmente uno smisurato drappo di luce (fig. 786) sospeso nell'alto, a seconda di una linea serpeggiante. Quest'ultimo aspetto della meteora è conosciuto col nome di *corona boreale*. È frequente altresì che le lingue di luce si mostrino in rosso alla base, e in verde verso il mezzo, conservandosi giallicce nel resto. Alla fine lo splendore diminuisce, i colori svaniscono, e tutta la meteora si estingue a poco a poco ».

Il P. Secchi ha studiato il fenomeno di cui si tratta, e dalle osservazioni, fatte e raccolte con rara sagacia, deduce le seguenti conclusioni: 1.° l'aurora polare è fenomeno meramente atmosfe-

rico, spesse volte molto basso; 2.° accade nelle regioni ove l'atmosfera è carica di ghiacciuoli asciutti, ossia di piccoli aghi di ghiaccio cadenti; 3.° la luce del fenomeno è certamente elettrica. S'indovina che, come ammette De-La-Rive, l'elettricità

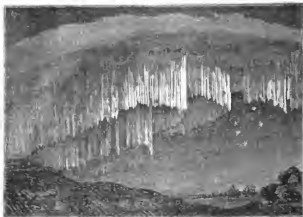



Fig. 786.

prodotta nelle basse latitudini deve trovarsi accumulata ai poli, ivi portata coll'aria dai venti. Il P. Secchi opina che a produrre la stessa elettricità, debbono concorrere tre altre cause, cioè: 1.° l'attrito dei ghiacciuoli pel moto dell'aria e pel loro trasporto; 2.° la mutazione del vapore dallo stato solido allo stato liquido; e 3.° l'induzione elettrica dell'atmosfera, operante sui ghiacciuoli all'atto della caduta. I colori che accompagnano l'aurora boreale sono effetto della rifrazione prodotta dai ghiacciuoli.

795. **Arco-baleno.** Un'altra bellissima meteora luminosa, ma di origine diversa, è l'*arco-baleno*, che apparisce talvolta, sul finire di un temporale, nella parte del cielo opposta al sole. In qualche caso si scorge un arco solo, nel quale il color rosso è al lembo esterno, e gli altri colori gli succedono nell'ordine che hanno nello spettro solare (461). Ma non è raro che apparisca anche un secondo arco più grande, e concentrico al primo, ove i colori sono disposti al rovescio, e sono molto meno splendidi. Quello appellasi arco *primario*, e quest'ultimo dicesi arco *secondario*. L'arco primario è prodotto dai raggi solari *Sa* (fig. 787), che penetrano nelle gocce *n* di pioggia cadenti, si riflettono totalmente una volta in *b*, ed escono da *g*, decompo-

nendosi (461). L'arco secondario dipende da ciò che alcuni raggi solari, come, per esempio, S'*d*, si riflettono due volte totalmente nell'interno della goccia, in *d* ed *f*, ed emergono nella direzione *f*O. L'angolo formato dal raggio incidente colla direzione

Fig. 787.

del raggio emergente, si chiama qui pure *angolo di deviazione*. Perchè l'osservatore, situato in O, riceva l'impressione dei diversi raggi colorati, partiti dalle gocce *n* e *p*, è necessario che questi raggi abbiano una determinata intensità (501), ossia che i raggi di un medesimo colore, uscendo da quelle gocce, sieno fra loro paralleli, sicchè arrivino in buon numero all' occhio in O. Tali raggi che hanno così l'attitudine a destare la sensazione del colore che li distingue, si chiamano *efficaci*. Il calcolo dimostra che pei raggi rossi l'angolo di deviazione corrispondente ai raggi efficaci è di 42°,2′, e pei raggi violetti è di 40°,17′. Scaturisce di qui che sono efficaci tutti i raggi rossi passati per le gocce d'acqua situate sulla circonferenza della base del cono che si può imaginare descritto intorno alla retta che passa per l'occhio dell'osservatore, parallelamente ai raggi solari, per mezzo dell'altra OI, che fa un angolo di 42°,2′ colla direzione dei raggi stessi. Pei raggi violetti quest'angolo sarà invece di 42°,2′; quindi questi due colori formeranno due circonferenze (che d'ordinario riesciranno visibili per metà), e gli altri colori ne formeranno altre frammezzo a quelle. La formazione e la grandezza dell'arco-baleno dipendono dunque dalla posizione dell'osservatore, e dall'altezza del sole sull'orizzonte. La meteora in discorso si forma nelle gocce di rugiada, nei getti di acqua; insomma ogni qualvolta la luce solare penetra nelle gocce d'acqua, sotto l'angolo opportuno.

796. **Opere che hanno servito a compilare il secondo volume.** Pei motivi accennati alla fine del primo volume, indico qui i libri di cui ho fatto uso nell'esporre i trattati contenuti in questo secondo volume.

AMBROSOLI. Prime nozioni di fisica.
ANNUARIO scientifico ed industriale di Milano.
ARAGO. Astronomie populaire.
BELLI. Corso elementare di fisica sperimentale.
CANTONI. Compendio di elettrologia.
» Relazioni tra alcune proprietà termiche ed altre proprietà fisiche dei corpi.
COMPTES-RENDUS de l'Academie des sciences à Paris.
DAGUIN. Traité élémentaire de physique.
DELAUNAY. Corso elementare d'astronomia.
ELEMENTI DI FISICA ad uso dei chierici della diocesi di Milano.
GANOT. Trattato elementare di fisica.
GAVARRET. Traité d'electricité.
JAMIN. Cours de physique de l'école polytechnique.
MATTEUCCI. Lezioni di fisica.
MAURY. Géographie physique de la mer.
POUILLET. Éléments de physique experimentale et de meteorologie.
PROVENZALI. Elementi di fisico-chimica.
SECCHI. Bullettino meteorologico.
» Memoria letta all'Accademia Pontificia dei nuovi Lincei.
» Quadro fisico del sistema solare.
» Unità delle forze fisiche.
STOPPANI. Note ad uso d'un corso annuale di geologia.
VOLTA. Collezione delle lettere.

FINE DEL VOLUME SECONDO.

NEL PRIMO VOLUME

A Pag.	Linea	Errata	Corrige
6	11	metercologia	meteorologia
196	26	Densità	Densimetri
378	41	sono combinazioni	e sono combinazioni
387	9	tino H	tino I
392	41	l'acqua ragia	l'acqua regia
440	20	Il bromo	Il boro
443	29	Il litio	Il bario
443	30	nel pretolio	nel petrolio
452	9	come i suoi sali	come i sali del suu protossido
468	16	per residuo 100 volumi di	per residuo 50 volumi di
471	32	il fosfato di calce nuoce	il solfato di calce nuoce
479	15	bolle a — 22°	bolle a + 22°
510	2	In generale i metalli	In generale due metalli
513	10	del bronzo	dell' ottone
525	42	Cordona	Cardona
531	19	è elettro-positivo relativamente	è elettro-negativo relativamente
531	31	sali aloidi	sali anfidi
537	12	di una base è completa	di una base fissa è completa
544	I.ª col. 6	acido solforico	acido solfidrico

NEL SECONDO VOLUME

A Pag.	Linea	Errata	Corrige
302	14	di molta capacità	di nota capacità
412	18	alla tensione	sulla tensione
436	9	il cui polo positivo comunicasse	il cui polo negativo comunicasse
503	32	un disco metallico	un disco di ottone
545	21	(fig. 621).	(fig. 607).

INDICE

FISICA PROPRIAMENTE DETTA.

SEZIONE PRIMA

ACUSTICA.

SEZIONE SECONDA

OTTICA.

CAPO PRIMO. — Origine e propagazione della luce.

CAPO SECONDO. — Decomposizione della luce.

CAPO TERZO. — Polarizzazione della luce.

CAPO QUARTO. — Visione.

SEZIONE TERZA

TERMOLOGIA.

CAPO PRIMO. — Sorgenti del calorico.

CAPO SECONDO. — Effetti fisici del calorico.

CAPO TERZO. — Propagazione del calorico.

SEZIONE QUARTA

ELETTROLOGIA.

PARTE SECONDA

FISICA SPECIALE.

ASTRONOMIA.

METEOROLOGIA.